

ANÁLISIS DE LAS CAUSAS Y POSIBLE SOLUCIONES AL DETERIORO DE LA  
IGLESIA DEL MUNICIPIO DE PINCHOTE “SANTANDER”

ELIANA PORRAS BENITEZ  
LISETH CRISTINA SILVA TORRES



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA

2009

ANALISIS DE LAS CAUSAS Y POSIBLE SOLUCIONES AL DETERIORO DE LA  
IGLESIA DEL MUNICIPIO DE PINCHOTE "SANTANDER"

ELIANA PORRAS BENITEZ  
LISETH CRISTINA SILVA TORRES



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA

2009

ANALISIS DE LAS CAUSAS Y POSIBLE SOLUCIONES AL DETERIORO DE LA  
IGLESIA DEL MUNICIPIO DE PINCHOTE “SANTANDER”

ELIANA PORRAS BENITEZ  
LISSETH CRISTINA SILVA TORRES

Proyecto de grado para optar al título de Ingenieras Civiles

Director  
NESTOR IVÁN PRADO GARCÍA  
Ingeniero Civil



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA

2009

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Jurado 1

---

Jurado 2

Bucaramanga, Enero de 2009

*Cada una de las metas alcanzadas hasta ahora  
Hacen parte de nuestro caminar en esta vida  
Terrena por lograr desarrollarnos integralmente.  
Hoy al culminar nuestros estudios profesionales,  
Queremos expresar nuestra eterna gratitud a  
Nuestros padres, hermanos, profesores, compañeros  
De estudio amigos e institución Por acogernos con  
Cariño y permitirnos ser lo que hoy somos.*

*Eliana Porras Benítez y Liseth Cristina Silva Torres*

## **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras expresan sus agradecimientos a:

Néstor Iván Prado García, Ingeniero Civil y Director de la Investigación, por su valiosa orientación.

Gerardo Bautista García, Ingeniero Civil y Director del área de Suelos de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, por su constante motivación en la investigación.

Rafael Enrique Ortiz Pérez, Ingeniero Civil y Asesor en la concepción y elaboración de la investigación, por su empeño e interés en la ejecución del proyecto.

Héctor Hernández, Geólogo y Docente de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, por su importante colaboración en la investigación.

Personal Laboratorio de Suelos, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, por su grandiosa colaboración y orientación en la utilización del laboratorio.

José Gavino Pinzón Sierra, Presbítero de la parroquia de Pinchote, por su persistencia y optimismo en la elaboración del proyecto.

A la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, por brindarnos todos los medios necesarios para llevar a feliz término nuestro sueño.

A la Comunidad Pinchotana, por permitirnos realizar este proyecto en su municipio en aras del bienestar social.

En especial a Dios y a nuestros Padres por ser parte de este sueño cumplido.

## TABLA DE CONTENIDO

### Contenido

INTRODUCCIÓN .....	15
1. OBJETIVOS .....	16
1.1 . OBJETIVO GENERAL.....	16
1.2 . OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
2. ANTECEDENTES .....	17
3. METODOLOGÍA.....	18
4. MARCO TEÓRICO.....	21
4.1 MARCO HISTÓRICO .....	21
4.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA .....	23
4.3 MARCO RELIGIOSO .....	25
4.4 DIAGNOSTICO .....	26
4.5 CLASIFICACIÓN DE SUELO .....	34
4.5.1 Generalidades <sup>3</sup> .....	34
4.6 CAPACIDAD PORTANTE.....	38
4.7 ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES <sup>5</sup> .....	43
4.8 CONSOLIDACIÓN DE SUELOS <sup>5</sup> .....	44
4.9 MUROS DE PIEDRA.....	47
PIEDRAS USUALES DE CONSTRUCCIÓN .....	48
4.9.1 LA CIMENTACIÓN .....	50
4.9.2 LOS SOBRECIMENTOS.....	51
4.9.3 CUBIERTA.....	52
5. RESULTADOS OBTENIDOS .....	55
5.1 CORTE DIRECTO .....	55
Fuente: Propia .....	55
5.2 LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO .....	56

5.3	CONSOLIDACIÓN.....	57
5.4	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	58
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	67
6.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	67
6.3	ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	68
6.3.1	CORTE DIRECTO.....	68
6.3.1.1	CAPACIDAD PORTANTE.....	68
6.3.1.1.1	Método de Meyerhof.....	68
6.3.1.1.2	Método de Terzaghi.....	70
6.3.2	CONSOLIDACIÓN.....	72
6.3.2.1	ASENTAMIENTOS.....	72
7.	CONCLUSIONES.....	74
8.	RECOMENDACIONES.....	76



## TABLA DE FIGURAS

<b>Figura 1 organigrama de trabajo</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2. Fachada templo municipio pinchote</b>	<b>21</b>
<b>Figura 3 planta localización iglesia y áreas que la componen</b>	<b>22</b>
<b>Figura 4. Mapa geográfico pinchote.</b>	<b>25</b>
<b>Figura 5 planta localización de fallas en la estructura</b>	<b>27</b>
<b>Figura 6. Piso iglesia</b>	<b>28</b>
<b>Figura 7. Muro lateral izquierdo. Iglesia</b>	<b>28</b>
<b>Figura 8. Fisuras muro lateral derecho</b>	<b>28</b>
<b>Figura 9. Fisuras muro lateral derecho</b>	<b>29</b>
<b>Figura 10. Fisuras cúpula</b>	<b>29</b>
<b>Figura 12. Fisuras muro lateral derecho.</b>	<b>29</b>
<b>Figura 13. Capilla divino niño</b>	<b>30</b>
<b>Figura 14. Nave principal iglesia</b>	<b>30</b>
<b>Figura 15. Muro lateral derecho</b>	<b>31</b>
<b>Figura 16. Empalme cubierta y muro lateral derecho</b>	<b>31</b>
<b>Figura 17. Empalme cubierta y muro lateral derecho</b>	<b>32</b>
<b>Figura 18. Fachada iglesia</b>	<b>32</b>
<b>Figura 19. Iglesia</b>	<b>33</b>
<b>Figura 20. Carta de plasticidad.</b>	<b>33</b>
<b>Figura 21. Forma de falla del suelo según therzaghy</b>	<b>36</b>
<b>Figura 22. Proceso de consolidación de suelos</b>	<b>39</b>
<b>Figura 23. Tipos de mampostería.</b>	<b>46</b>

<b>Figura 24. Piedras usuales de construcción. Muros en tapia pisada</b>	<b>48</b>
<b>Figura 25. Método constructivo tapia pisada.</b>	<b>48</b>
<b>Figura 26. Método constructivo tapia pisada.</b>	<b>49</b>
<b>Figura 27. Cimentación</b>	<b>50</b>
<b>Figura 28. Cimentación</b>	<b>51</b>
<b>Figura 29. Sobrecimentación.</b>	<b>51</b>
<b>Figura 30. Sobrecimentación.</b>	<b>52</b>
<b>Figura 31. Cubierta.<sup>8</sup></b>	<b>52</b>
<b>Figura 32 entechado.</b>	<b>53</b>
<b>Figura 33. Localización sacristía</b>	<b>54</b>
<b>Figura 34. Muros sacristía</b>	<b>58</b>
<b>Figura 35. Localización nave 1</b>	<b>59</b>
<b>Figura 36. Muros nave 1 (divino niño)</b>	<b>59</b>
<b>Figura 37. Localización nave 2</b>	<b>60</b>
<b>Figura 38. Muros nave 2 (sagrado corazón)</b>	<b>60</b>
<b>Figura 39. Localización nave central</b>	<b>61</b>
<b>Figura 40. Muro a. Nave central</b>	<b>61</b>
<b>Figura 41. Muro b. Nave central</b>	<b>62</b>
<b>Figura 42. Muros c, d, e, f, g y h. Nave central</b>	<b>62</b>
<b>Figura 43. Localización imágenes nave central</b>	<b>63</b>
<b>Figura 44. Columnas</b>	<b>63</b>
<b>Figura 45. Localización de imagen nave 1</b>	<b>64</b>
<b>Figura 46. Cúpula</b>	<b>64</b>

<b>Figura 47. Muros externos cúpula</b>	<b>65</b>
<b>Figura 40. Techo iglesia</b>	<b>66</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Nombres de los Materiales	<b>29</b>
<b>Tabla 2.</b> Parámetros $K_{py}$	<b>31</b>
<b>Tabla 3.</b> Parámetros de forma según Terzaghi	<b>31</b>
<b>Tabla 4.</b> Ensayos de corte directo	<b>45</b>
<b>Tabla 5.</b> Ensayo de Límites	<b>46</b>
<b>Tabla 6.</b> Ensayos de consolidación	<b>46</b>



## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TÍTULO:** ANÁLISIS DE LAS CAUSAS Y POSIBLE SOLUCIONES AL DETERIORO DE LA IGLESIA DEL MUNICIPIO DE PINCHOTE “SANTANDER”

**AUTOR(ES):** LISETH CRISTINA SILVA TORRES  
ELIANA PORRAS BENITEZ

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Néstor Iván Prado García

### RESUMEN

El presente proyecto identifica las causas del deterioro de la iglesia del Municipio de Pinchote “Santander” y del mismo modo plantear posibles soluciones a esta problemática. Se realiza un estudio investigativo general acerca de las condiciones actuales de la estructura, del suelo y una recopilación histórica acerca de su construcción, terminación, remodelaciones y mejoras realizadas en los últimos años; para lograr esto se realizaron seis sondeos distribuidos en el perímetro de la iglesia que permitieron clasificar los suelos, conocer sus características y hallar la capacidad portante de los mismos, sobre la parte estructural se realizó el levantamiento topográfico y el análisis de cargas con el fin de calcular los esfuerzos a los cuales está sometido el suelo. De acuerdo a los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados se llegó a la conclusión que la principal causa del deterioro de la iglesia radica en el cambio de humedad del suelo a raíz de una mejora en el manejo de las aguas lluvias de la iglesia, se identificó como segunda causa las características desfavorables en los diferentes tipos de suelos sobre los cuales está construida la iglesia ocasionando asentamientos diferenciales severos que causaron el deterioro de la estructura.

**PALABRAS CLAVES:** Deterioro, estudio, estructura, suelo, construcción, remodelaciones, sondeos.



## GENERAL ABSTRACT OF WORK DEGREE

**TÍTULO:**

**AUTHOR(S):** LISETH CRISTINA SILVA TORRES  
ELIANA PORRAS BENITEZ

**FACULTY:** Civil Engineer Faculty

**DIRECTOR:** Nestor Iván Prado García

### ABSTRACT

The principal goal of this project is to understand the damage to the land of the church of Pinchote Santander, and at the same time to find solutions for this damage. First, we did research about the actual conditions of the structure on the ground and wrote a summary of the whole history of it's construction, termination, redesign, and restructuring in the past; to get this score we did six test drilling distributed in the church's perimeter that allowed us to classify the grounds, learn more about the characteristics, and find their problems. We made a topographical study of the building and analyzed loads to calculate the weight that the ground had to support. In agreement with the scores in the different trials carried out, the conclusion is that the first cause of the problem in the church's ground is the moisture in the soil as a result of rainwater, the second cause is the unfavourable characteristics in the different types of soil where the church was built, causing different and severe settlement that caused the damage in the building.

**KEY WORDS:** Deterioration, study, structure, ground, construction, remodelings, surveys.

## INTRODUCCIÓN

La problemática del proyecto se basa en el deterioro de la iglesia del municipio de Pinchote, la cual en los últimos años ha presentado una serie de fisuras y movimientos en sus muros generando un gran daño a la estructura que se encuentra en peligro.

Hace aproximadamente cinco (5) años se realizó un cambio en el manejo de las aguas lluvias de la iglesia, esto produjo una diferencia notable en la humedad del suelo del costado derecho de la estructura, el cual alteró el comportamiento normal de este que coincidentalmente es diferente al del costado izquierdo y de pobres características de modo que los asentamientos diferenciales se situaron en esta parte de la estructura y provocaron una serie de fisuras, hundimientos, desplazamientos en la cubierta y desplome en los muros.

De acuerdo a esto y estando en conocimiento de las condiciones actuales de la iglesia, se procedió a realizar un estudio general en seis (6) sondeos para tomar muestras a diferentes profundidades para así conocer las propiedades y tipos de suelos, posteriormente se realizaron los respectivos ensayos de granulometría, límites líquido y plástico, consolidación y corte directo; los cuales arrojaron las características y propiedades de los dos (2) tipos de suelo encontrados de los cuales, el presente en la parte deteriorada no posee óptimas características sobre los cuatro (4) metros superficiales; radicando en esto una de las causas de los asentamientos diferenciales más notorios sobre la parte derecha de la estructura.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

- Identificar las causas y posibles soluciones del deterioro de la iglesia del Municipio de Pinchote “Santander”.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar el tipo de suelo sobre el cual está construida la iglesia y a su vez sus características físicas y mecánicas.
- Analizar las cargas actuantes de la estructura.
- Conocer el avance histórico sobre la construcción y restructuración de la iglesia del Municipio de Pinchote.
- Identificar las posibles soluciones que permitan detener la falla en la estructura.



## 2. ANTECEDENTES

Actualmente la iglesia de Pinchote presenta una falla en su parte estructural, lo cual genera un grave problema de seguridad para la comunidad Pinchotana, que se rehúsa a dejar de utilizarla poniendo en riesgo su propia vida.

La falla de la iglesia radica en todo el muro lateral derecho que presenta agrietamientos, hundimiento y desprendimiento generando una falla estructural masiva.

Hasta el momento no se habían realizado investigaciones de ningún tipo, relacionadas con la estructura de la iglesia o cimentación de la misma, por tanto no existe información escrita de estos sucesos que puedan registrarse como antecedentes, debido a esto la información recopilada ha sido por medio de recuentos de los habitantes y sacerdotes que han pasado por el pueblo.

Con el objetivo de mitigar la falla se han realizado algunas mejoras en la estructura que no han cumplido su objetivo principal, siguiendo presente la falla y cada vez con mayor magnitud.

La investigación se desarrolló para localizar las causas de la falla para así dar posibles soluciones.

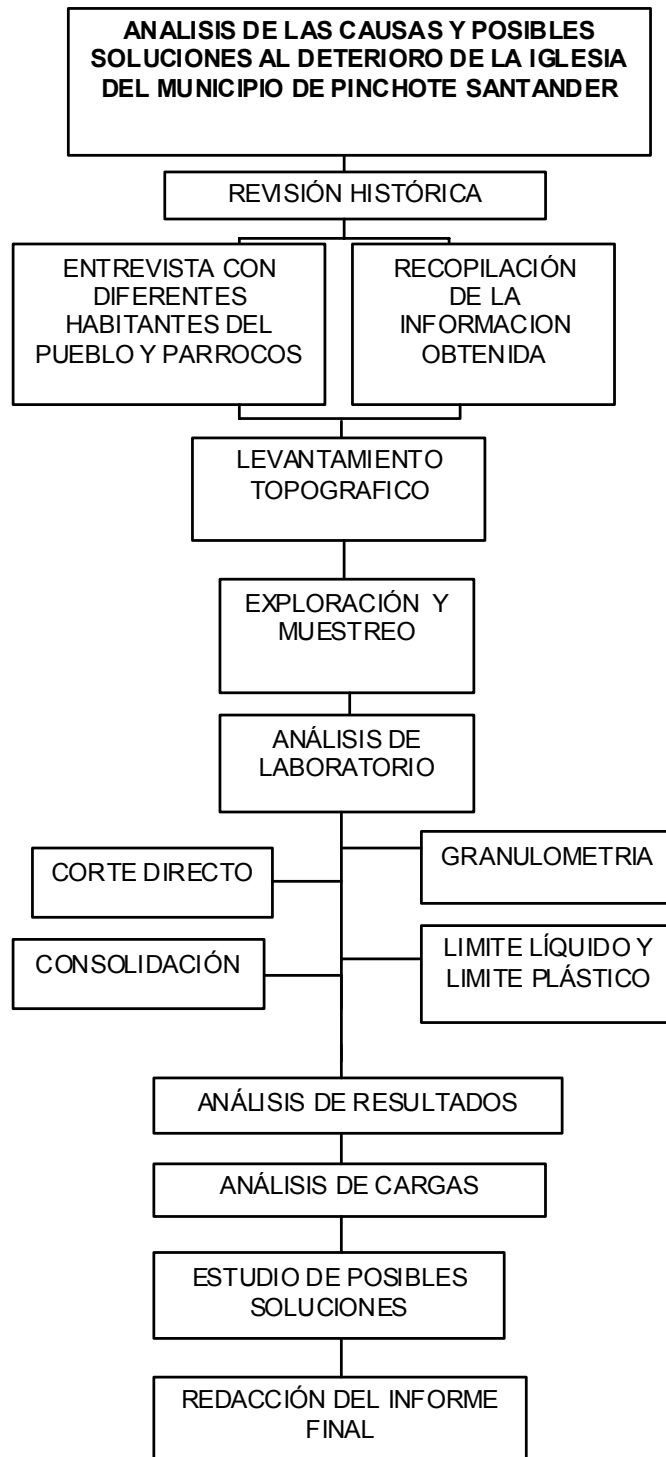
### 3. METODOLOGÍA

Para realizar de una forma práctica y organizada, se siguió la siguiente secuencia lógica de las actividades:

1. Revisión histórica:  
Se investigaron, estudiaron y analizaron las diferentes reformas que con el tiempo se le han realizado a la iglesia; a su vez se investigó la historia constructiva de la misma.
2. Levantamiento topográfico:  
Se realizó un levantamiento topográfico tanto a la parte interna de la iglesia como también a la parte externa de la misma.
3. Exploración y muestreo:  
Las muestras se tomaron del fondo de los apiques, en varios sectores de la iglesia de Pinchote, tanto en el muro lateral derecho como izquierdo y en la parte de atrás de la misma.
4. Análisis de laboratorio:  
Se realizaron diferentes ensayos al suelo en los laboratorios de la Universidad PONTIFICIA BOLIVARIANA.
5. Análisis de resultados:  
Se determinó el tipo de suelo y sus propiedades físicas, esto para determinar si la falla se debió al suelo.
6. Análisis de cargas  
Se realizó el análisis de cargas de la iglesia de Pinchote para saber si la falla se debe a que al parecer el sistema no está equilibrado.
7. Estudio de posibles soluciones:  
Ya realizados el estudio de suelos y el análisis de cargas, se plantean las soluciones necesarias para detener la falla y mejorar el aspecto de la iglesia de PINCHOTE.
8. Redacción del informe final:  
Será la recopilación de todas las memorias, resultados y análisis de los datos de forma clara y precisa, de manera, que puedan ser aprovechadas.

Para la elaboración y presentación del presente informe se rige por la Norma Técnica Colombiana (NTC 1486), patentada por el ICONTEC.

Se tomaron como parámetros de referencia las Normas INVIAS para ejecución de los ensayos de laboratorio.



Fuente: propia

**Figura 1 Organigrama de trabajo**

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 MARCO HISTÓRICO



Fuente: Propia

#### **Figura 2. Fachada Templo Municipio de Pinchote<sup>1</sup>**

El 21 de junio de 1794 se propuso a don Juan Francisco Santos, que vendiera o permutara su casa para construir allí la Iglesia. Al principio accedió, pero después se arrepintió y entonces el párroco invitó a Don Juan Francisco a una reunión de vecinos, para ver si era posible realizar el negocio. Don Juan Francisco prosiguió en su negativa.

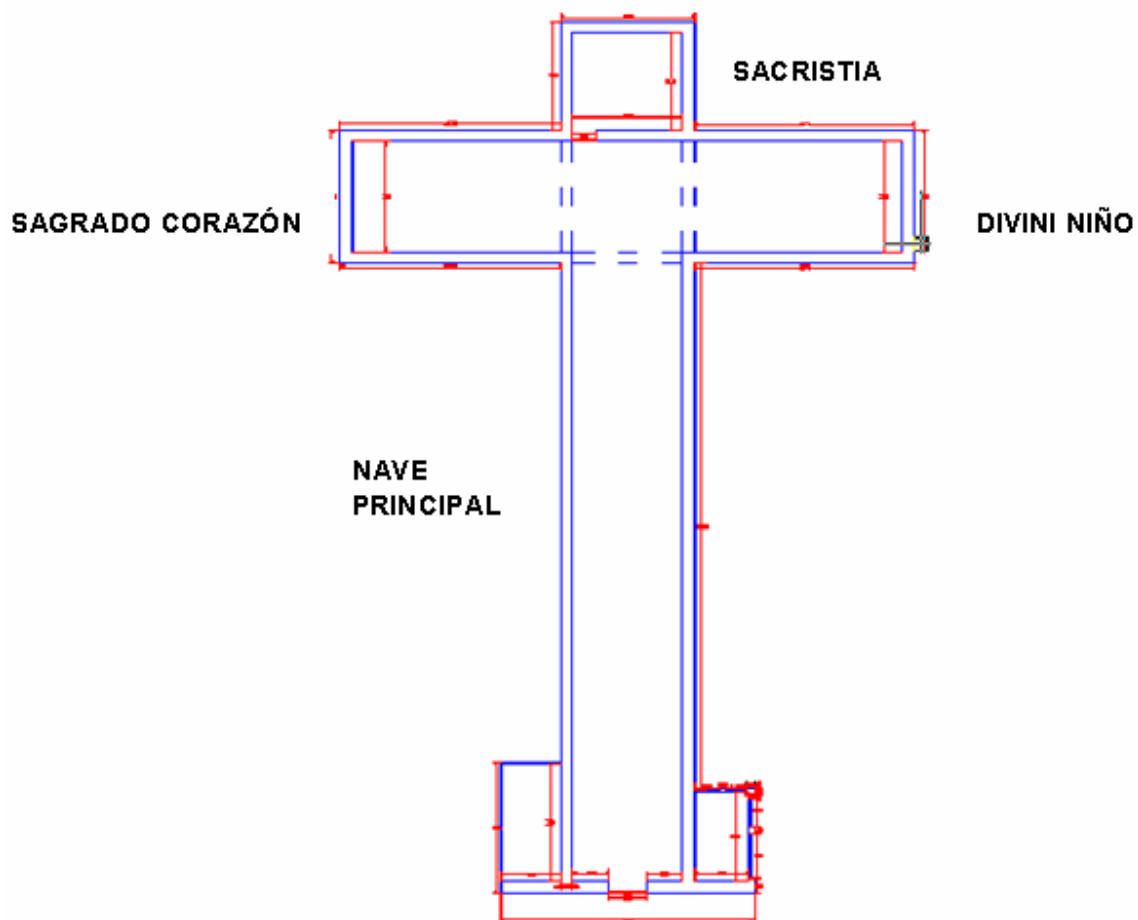
Terminada la Junta Don Juan Francisco se dirigió a su casa, cercana al sitio donde se había reunido con el párroco y en la puerta de su residencia cayó muerto de un repentino síncope. Los demás integrantes de la Junta, dice el documento, supieron que Dios lo había castigado por su negativa cuando el in suceso pudo ser ciertamente una simple coincidencia. Los herederos cedieron la casa y allí se levantó el Templo para la Parroquia.

---

<sup>1</sup> ALVARO SARMIENTO SANTANDER. Archivo Nacional. Departamento de Santander – Pinchote.

Fundada esta parroquia en 1782 es muy posible que inicialmente construyeran un templo muy sencillo, que a mediados del siglo XIX fuera reemplazado por el Templo actual, en cuya construcción debieron emplear varios años. El frontis de este Templo construido totalmente en piedra, aún cuando dañada el quitarle la cal que lo cubría, tiene todas las características de haber sido construido hacia 1850, no se halla ninguna inscripción ni documento que indique la fecha precisa de su construcción, la parroquia tiene un amplio salón para reuniones <sup>1</sup>. (Ver Anexo P).

### MEJORAS A LA ESTRUCTURA



Fuente: Levantamiento topográfico

**Figura 3 Planta localización iglesia y áreas que la componen**

- 1984 - En la nave Central se cambiaron dos vigas agrietadas.
- 1990 - En la Capilla del Divino Niño se tumbó el Cielo Raso de caña y pañete dejando a la vista el techo, se pintó y empañetó el mismo junto con las maderas.
- 2001 - Cambio del sobre techo y canaletas metálicas de la Cúpula.
- 2001 – Bateas alrededor de la iglesia para la recolección de aguas lluvias.
- 2002 – Cambio del Techo y Remodelación de la Capilla del Sagrado Corazón.
- 2005 – Se resanaron las grietas que presentaba la cúpula.

## **4.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA**

El municipio de Pinchote está ubicado en la República de Colombia en el Sector Central-Oriental del departamento de Santander, sobre la vía que de Bucaramanga conduce a Bogotá D.C., dista de San Gil capital de la provincia de Guantán, cinco (5) Km, del Socorro, capital de la provincia comunera diez y ocho (18) Km; fue fundado el siete (7) de Abril de 1782 por los señores Don PEDRO DE LOS SANTOS MENESES Y DON ANTONIO JOSÉ VILLAMIL, ha recibido también el nombre de San Vicente de Padua y Ferrer de la Parroquia de Pinchote; posee un a temperatura promedio de 24°C, una extensión total de 153,81 Km<sup>2</sup> distribuidos en área urbana 6 Km<sup>2</sup> y área de rural 136,81 Km<sup>2</sup>; una altitud de 1131 m.s.n.m; se toma como referencia Bucaramanga que dista de 107 Km; limita al norte con el municipio de San Gil, por el oriente con el municipio de El Páramo por el occidente con los municipios de San Gil y Cabrera, por el sur con el municipio del Socorro; se ubica en los pisos térmicos cálido húmedo y templado húmedo. (Ver Figura 2).

Pinchote se encuentra sobre la cordillera oriental que corresponde a la región andina, esta región comprende el sistema montañoso de los andes compuesto por las tres cordilleras, la occidental, la central y la oriental, con topografía bastante montañosa. Este municipio encuentra su polo su atracción en la ciudad de Bucaramanga debido a sus servicios productores cuya influencia es de tipo mercantil y de oferta laboral al igual que ejerce una importante atracción a nivel

de educación superior, sin embargo su mayor influencia la reciben los municipios circunvecinos de San Gil y Socorro.

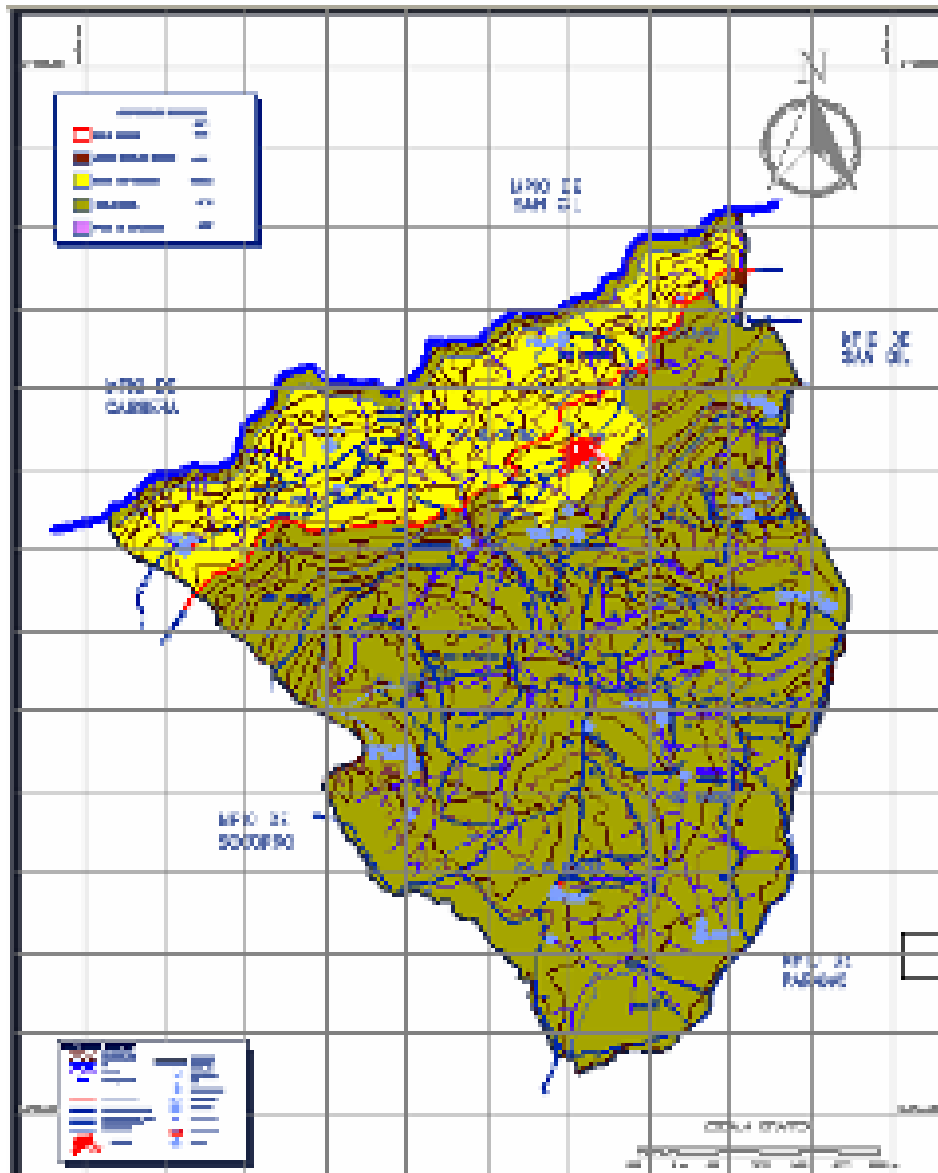
La economía se basa principalmente en la explotación agrícola, extendida en todas las veredas del municipio, los cultivos más representativos son: maíz, millo, café, cítricos, plátano, yuca, caña de azúcar, tabaco, tomate y fríjol. Los sistemas, son agricultura tradicional y con tecnología artesanal cuya asistencia técnica la presta la UMATA (unidad municipal de asistencia técnica agropecuaria) y la administración municipal, la mano de obra es familiar y asalariada, la comercialización de los productos cosechados se hace básicamente en San Gil, cuyos principales intermediarios son COMERCOOP, COOPERATIVA DE CAFICULTORES, PROTABACO, CENTRO ABASTOS Y PLAZA DE MERCADO.

En los últimos años el municipio se ha consolidado como un atractivo turístico gracias a los deportes de aventura que allí se practican como son el Rappel, torrentismo y caminatas ecológicas.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> ALCALDIA MUNICIPAL PINCHOTE 1998. Pinchote en Marcha.





Fuente: [www.pinchote.com.co](http://www.pinchote.com.co)

**Figura 4. Mapa Geográfico Pinchote.**

### **4.3 MARCO RELIGIOSO**

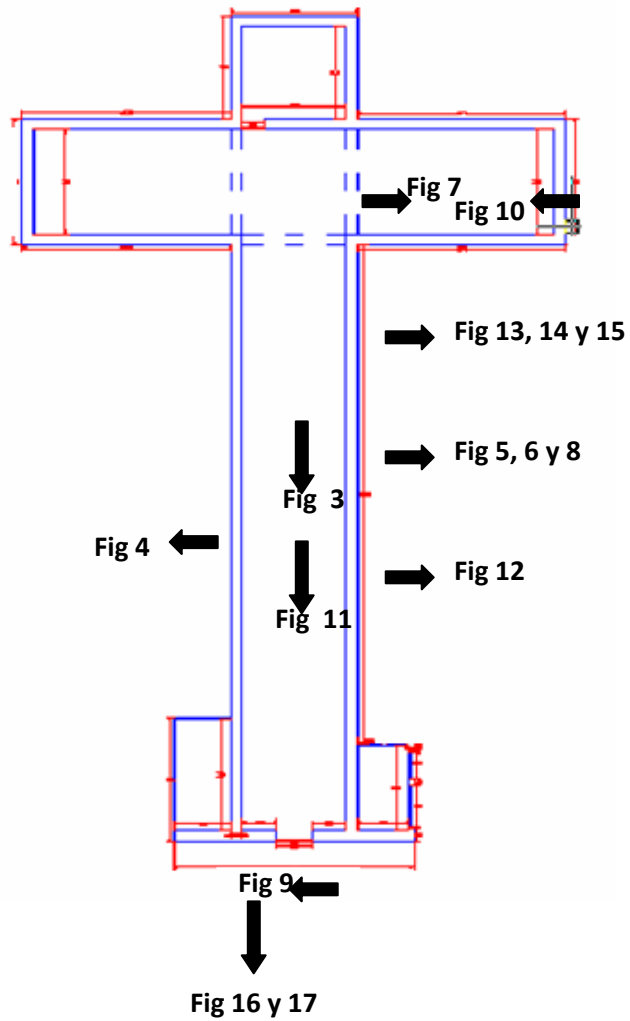
La comunidad Pinchotana desde la fundación del municipio se ha reconocido por la ferviente religiosidad, ya que su creencia en SAN ANTONIO DE PADUA

considerado el patrono del pueblo los ha acompañado generación tras generación, ubicándolos como uno de los sitios más devotos de la provincia; es así como el deterioro de la iglesia constituye problema muy grave para la comunidad, que necesita una solución rápida a esta situación.

Debido a que la comunidad quiere conservar esta estructura considerada patrimonio histórico religioso y cultural del municipio debido a que la asistencia de la comunidad del casco urbano y rural a la sagrada eucaristía los días domingos principalmente y entre semana son concurridos debido a sus creencias y que es el único templo con que cuenta el municipio para sus actividades religiosas. Se niegan a dejar de utilizarlo y por supuesto a permitir que desaparezca.

#### **4.4 DIAGNOSTICO**

Actualmente la estructura de la iglesia presenta una serie de daños distribuidos principalmente sobre el costado derecho a lo largo de toda la estructura; se encuentran situaciones tales como (Ver Anexo C):



**Figura 5 Planta localización de fallas en la estructura**

- Fisura longitudinal a lo largo del piso con hundimiento al lado derecho de esta.



**Figura 6. Piso Iglesia**

- Fisuras transversales sobre el muro lateral derecho, cúpula, nave divino niño (derecha), muro lateral izquierdo en sus primeros seis (6) metros de longitud.



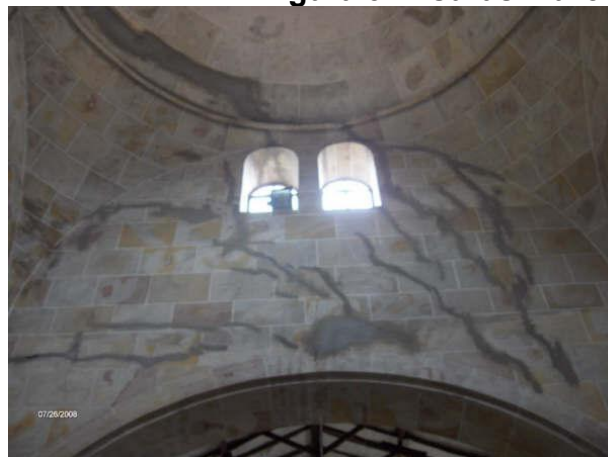
**Figura 7. Muro Lateral Izquierdo. Iglesia**



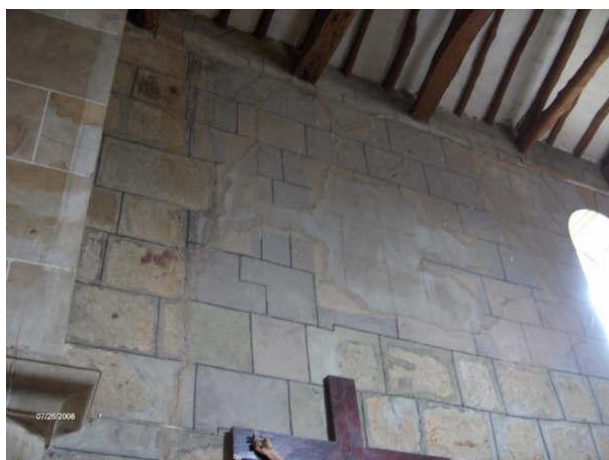
**Figura 8. Fisuras Muro Lateral Derecho**



**Figura 9. Fisuras Muro Lateral Derecho**



**Figura 10. Fisuras Cúpula**



**Figura 11. Fisuras Muro Lateral Derecho.**



**Figura 12. Fisuras Muro Lateral Derecho.**



**Figura 13. Capilla Divino Niño**

- Desplome de muro lateral derecho con longitud de veinte y tres (23) centímetros.



**Figura 14. Nave Principal Iglesia**



**Figura 15. Muro Lateral Derecho**

- Desplazamiento de la cubierta principal, debido al desplome del muro sobre el que se soportada.



**Figura 16. Empalme Cubierta y Muro Lateral Derecho**



**Figura 17. Empalme Cubierta y Muro Lateral Derecho.**

- Hundimientos diferenciales a partir de la fisura longitudinal en el piso sobre la parte derecha de la estructura.
- Desplome del muro frontal hacia el atrio de la iglesia.





**Figura 18. Fachada Iglesia**



**Figura 19. Iglesia**

Como el desplome del muro es muy pequeño en las imágenes no se alcanza a percibir muy bien.

## **4.5 CLASIFICACIÓN DE SUELO**

### **4.5.1 Generalidades<sup>3</sup>**

Teniendo en cuenta la complejidad y variedad en que los suelos se encuentran en la naturaleza, desde los primeros estudios de tipo descriptivo se ha buscado clasificarlos de alguna manera, inicialmente por tamaño, mientras que actualmente una buena clasificación debe incluir sus propiedades mecánicas por ser primordiales para la utilización de estos en obras de ingeniería, y a su vez debe tener parte cualitativa que permita algunas facilidades de clasificación; y que encierre una normativa para los suelos en general.

Dentro de los antecedentes en clasificación de suelos se encuentran los efectuados por el doctor Casagrande en la que se destaca las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos finos (pasa 200) pueden caracterizarse según su plasticidad; en cuanto a los suelos formados por partículas mayores a la malla 200 es aun granulométrica.

### **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos<sup>3</sup>**

Este sistema está basado en el propuesto por el doctor Casagrande solo tiene algunas modificaciones; este sistema cubre los suelos gruesos y finos diferenciándolos por su paso por la malla 200, las partículas que pasan por esta malla se consideran finas y las que no se consideran gruesas. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fin si más de la mitad de sus partículas en peso son finas.)

### **Suelos gruesos<sup>3</sup>**

El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de ese grupo.

- a) Gravas y suelos en que predomine estas, el símbolo es G
- b) Arenas y suelos arenosos, símbolo S

Las gravas y las arenas se separan por la malla N° 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si mas del 50% de su fracción gruesa no pasa por la malla N°4, y es del grupo genérico S en caso contrario.

---

<sup>3</sup> JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos.Ed. Limusa. Tomo I.

Las gravas y las arenas se subdividen en cuatro tipos:

- 1) Material prácticamente limpio de finos y bien gradado símbolo W y en combinación GW, SW.
- 2) Material prácticamente limpio de finos, mal gradado símbolo P y en combinación GP, SP.
- 3) Material con cantidad apreciable de finos plásticos, símbolo M y en combinación GM, SM.
- 4) Material con cantidad apreciable de finos plásticos, símbolo C y en combinación GC, SC.

### **Suelos finos<sup>3</sup>**

En este caso también se agrupan los suelos, dando un símbolo a cada agrupación de suelos:

- a) Limos inorgánicos, de símbolo M
- b) Arcillas inorgánicas, de símbolo C
- c) Limos y arcillas orgánicas, de símbolo O

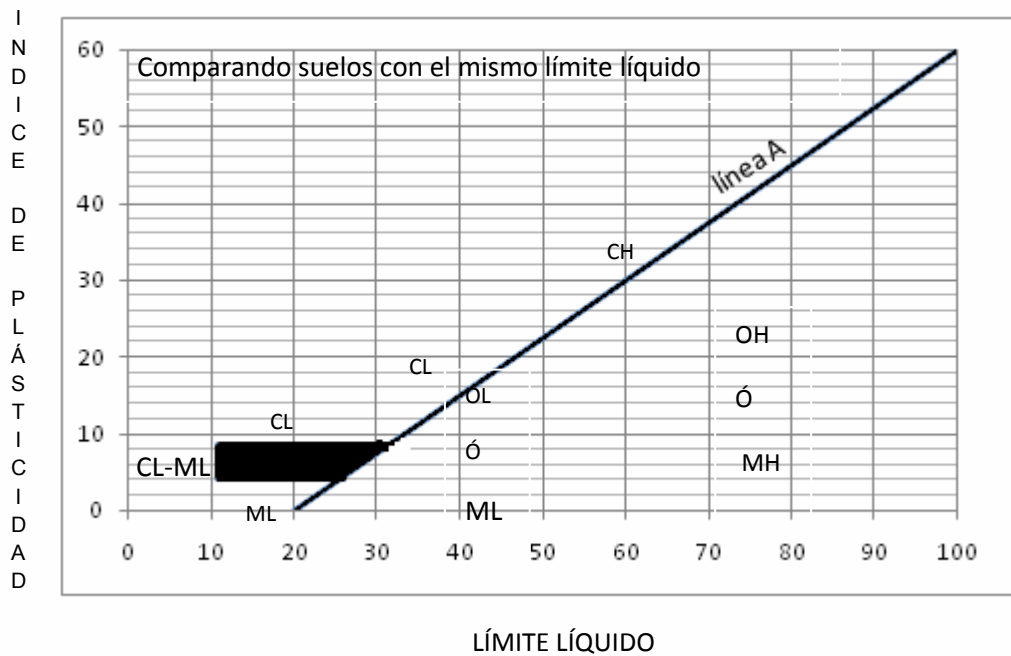
Y cada uno de estos se subdivide según su límite líquido, en dos grupos: si este es menor de 50% (de baja compresibilidad) se añade la letra L en combinación los símbolos ML, CL, OL. Los suelos finos con límite líquido mayor del 50% (de alta compresibilidad) se añade la letra H en combinación MH, CH y OH. Se aclara que las letras L y H no se refieren a baja o alta plasticidad; pues esta característica ha de expresarse según los parámetros de límite líquido (LL) e índice de plasticidad (IP); ya que la compresibilidad del suelo depende directamente del límite líquido. (Ver figura 18 y Tabla 1).

Cabe aclarar que el término compresibilidad se refiere a la pendiente del tramo virgen de la curva de compresibilidad y no a la condición actual del suelo inalterado, pues este puede estar seco parcialmente o sobre consolidado.

---

<sup>3</sup> JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I.

Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas o suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo Pt.



Fuente: Mecánica de suelos Juarez Badillo, Rico Rodríguez Tomo I

**Figura 20. Carta de Plasticidad.**

<sup>3</sup> JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I.

**Tabla 1. Nombres de los Materiales**

<b>GRUPO</b>	<b>NOMBRES TIPICOS DEL MATERIAL</b>
GW	Grava Bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino
GP	Grava mal gradada, mezclas grava-arena, poco o ningún fino
GM	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo
GC	Grava arcillosa, mezclas gravo-arena arcillosas
SW	Arena bien gradada
SP	Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino
SM	Arenas limosas, mezclas arena-limo
SC	Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla
ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras
OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos
P <sub>t</sub>	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

Fuente: Fuente: Mecánica de suelos Juarez Badillo, Rico Rodríguez Tomo I

## 4.6 CAPACIDAD PORTANTE<sup>4</sup>

La capacidad portante es la máxima presión que resiste un suelo al nivel de su fundación sin que falle. La capacidad de soporte admisible es igual a la capacidad de soporte última dividida en un factor de seguridad; este factor debe ser superior al mínimo exigido por la norma (para este caso NSR-98).

La capacidad de soporte admisible asegura que el suelo al nivel de la fundación no fallará por cortante, pero no garantiza que los asentamientos que se produzcan sean inferiores a los permitidos por la norma, así que deben calcularse y ser verificados para que no sobrepasen los valores admisibles.<sup>4</sup>

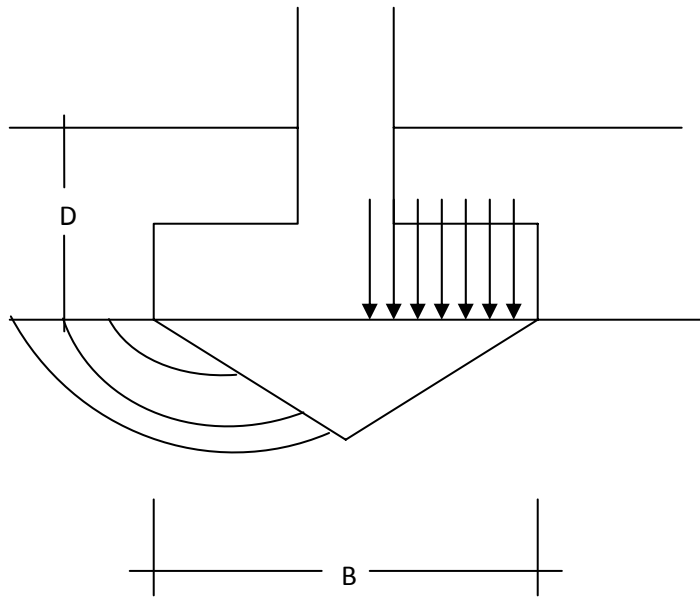
### 4.6.1 ECUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE TERZAGHI

La ecuación de capacidad portante de Terzaghi varía los valores de los factores  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ ; esto se debe a que Terzaghi plantea superficies de falla espirales logarítmicas y son calculados de manera diferente e incluyen dos factores de forma  $S_c$ ,  $S_\gamma$ .

Según Terzaghi las líneas de falla bajo la zapata se ajustan a una espiral logarítmica (Ver figura 19).

---

<sup>4</sup> JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo II.



Fuente: Foundation analysis and desing, Joseph. Bowles 5<sup>a</sup> edicion  
**Figura 21. Forma de falla del suelo según Therzaghy**

Según Terzaghi las formulas para hallar la capacidad portante son:

$$q_{ult} = (C * N_c * S_c) + (\bar{q} * N_q) + \left( \frac{\gamma * B}{2} * N_r * S_r \right) \quad \text{Ec. (1)}$$

Primero se calcula el factor Nq así:

$$N_q = \frac{a^2}{2 * \cos^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

$$a = \ell \left( \left( 0.75 * \pi - \frac{\phi}{2} \right) * \tan \phi \right) \quad \text{Ec. (3)}$$

<sup>5</sup> JOSEPH E. BOWLES. Foundation analysis aun desing. Ed. McGraw-Hill. 5<sup>a</sup>edicion.

Luego se calcula  $N_c$ :

$$N_c = (N_q - 1) * \cot \phi$$

Para  $\phi \neq 0$  **Ec. (4)**

Luego se calcula  $N_\gamma$ :

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} * \left( \frac{k p \gamma}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

**Ec. (5)**

Se calcula el parámetro de  $K_p \gamma$

**Tabla 2. Parámetro  $K_p \gamma$**

$\phi^\circ$	$K_p \gamma$
0	10.8
5	12.2
10	14.7
15	18.6
20	25
25	35
30	52
34	
35	82
40	141
45	298
48	
50	800

Fuente: Foundation analysis and desing, Joseph. Bowles 5ª edicion

---

<sup>5</sup> JOSEPH E. BOWLES. Foundation analisis aun desing. Ed. McGraw-Hill. 5ªedicion.



Se hallan los parámetros  $S_c$ ,  $S_\gamma$ .

**Tabla 3. Parámetros de forma según Terzaghi**

Tipo	Continuo	Redondo	Cuadrado
$S_c$	1.0	1.3	1.3
$S_r$	1.0	0.6	0.8

Fuente: Foundation analysis and desing, Joseph. Bowles 5ª edición

#### 4.6.2 ECUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE MEYERHOF

La ecuación de capacidad portante según Meyerhof incluye el factor de forma  $S_\gamma$ , afectando el factor  $\bar{q}$ ; e incluye los factores de profundidad:  $d_c$ ,  $d_q$ ,  $d_\gamma$ .

Para el cálculo de la capacidad portante se plantean las siguientes formulas:

$$q_{ult} = (C * N_c * S_c * d_c) + (\bar{q} * N_q * S_q * d_q) + \left( \frac{r * B}{2} * N_r * S_r * d_r \right) \quad \text{Ec. (6)}$$

Primero se calcula los parámetros:

$$N_q = \ell^{\pi * \tan \phi} * \tan \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad \text{Ec. (7)}$$

$$N_c = (N_q - 1) * \cot \phi \quad \text{Ec. (8)}$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) * \tan(1.4\phi)$$

**Ec. (9)**

---

<sup>5</sup> JOSEPH E. BOWLES. Foundation analysis aun desing. Ed. McGraw-Hill. 5ª edición.

Se calculan los factores de forma y de profundidad

$$S_c = 1 + 0.2 * (K_p * \frac{B}{l})$$

**Ec. (10)**

$$S_q = S_r = 1 + 0.1 * (K_p * \frac{B}{l})$$

**Ec. (11)**

$$K_p = \tan(45 + \frac{\phi}{2})$$

**Ec. (12)**

Donde:

C: Cohesion

Nc:

Sc: Factor de forma

dc: Factor de profundidad

q: Presion de sobrecarga efectiva

Nq:

qult: ultima presion calculada

Nr:

Sq: Factor de forma

dq: Factor de profundidad

Sr: Factor de forma

dr: Factor de profundidad

Kp: Coeficiente de presion pasiva

---

<sup>5</sup> JOSEPH E. BOWLES. Foundation analysis and design. Ed. McGraw-Hill. 5ª edición.

**Donde:**

**L:** Longitud del cimiento

**B:** Ancho del cimiento

**B<L**

Donde:

Factores de profundidad

$$dc = 1 + 0.2\sqrt{Kp} * \frac{D}{B} \quad \text{Ec. (13)}$$

$$dq = dr = 1 + 0.1\sqrt{Kp} * \frac{D}{B} \quad \text{Ec. (14)}$$

#### 4.7 ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES<sup>5</sup>

Los asentamientos se dan en estratos de suelo compresibles, sometidos a cargas; y se afirma que la presión ejercida en estos es uniforme en todo su espesor.

Asentamientos en suelos plásticos compresibles

Para calcular el asentamiento por consolidación, de un estrato se uso la siguiente ecuación:

$$\Delta H = (\Delta e / 1 + eo) * H \quad \text{Ec. 15}$$

Donde;  $\Delta H$  corresponde al asentamiento en metros.

$\Delta e$ ;  $eo - ef$  que corresponden;

$\Delta e$ ; a la diferencia entre los parámetros  $eo$ ,  $ef$

$Eo$ ; que corresponde al área de presión de vacíos

$Ef$ ; corresponde al área de presión efectiva

Al tener las pruebas de consolidación sobre las muestras inalteradas se genera una curva de compresibilidad para cada prueba y de esta se calculan los anteriores parámetros (Ver Anexo J).

Los suelos arenosos, finos y limosos sueltos sometidos a cargas; son característicos por saturarse y producir asentamientos bruscos bajo el estrato a raíz de este fenómeno, algo que ocurre cuando el agua de saturación rompe la tensión capilar del suelo y esto es muy grave para cualquier tipo de estructura.<sup>5</sup>

#### **4.8 CONSOLIDACIÓN DE SUELOS<sup>5</sup>**

Las estructuras cimentadas sobre suelos y diseñadas en forma no adecuada pueden fallar debido a dos causas primordialmente:

- a) Asentamiento excesivo
- b) Falla por cortante en el suelo

El fenómeno de consolidación de suelos es el causante de que una estructura construida sobre un estrato de suelo fino se asiente con respecto a su nivel inicial. De manera que se presentan una serie de fallas en el suelo y que seguidamente se ven reflejadas en la estructura como es el caso de la estructura en estudio, la cual por una falla en el suelo de cimentación se presentaron una serie de grietas, fisuras, y en general fracturas de la estructura, especialmente sobre el muro lateral derecho, justo sobre el cual se encuentra el suelo de cimentación de peores condiciones; todo esto debido a un problema de asentamiento excesivo, por darse en un periodo de tiempo corto.

##### **4.8.1 CONSOLIDACIÓN<sup>5</sup>**

Es un fenómeno por el cual un suelo saturado disminuye de volumen debido al escape del agua de los poros. La disminución de volumen es igual al volumen de agua que escapó de los poros del suelo.

El escape de agua de los poros es debido al aumento de la presión, en este caso el agua siempre busca irse a otro lugar de menor presión.

Cuando en una masa de suelo saturado aumentan las presiones, inicialmente la presión de agua aumentará en la misma cantidad. Este aumento de presión produce escape de agua y por ende la disminución de vacíos. La disminución de volumen continua hasta que la presión de poros disminuya a un valor igual a la que tenía antes de sobrecargar el suelo.

---

<sup>5</sup> JOSEPH E. BOWLES. Foundation analysis aun desing. Ed. McGraw-Hill. 5ªedicion.

---

<sup>6</sup> JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos.Ed. Limusa. Tomo II

El aumento de presión es inicialmente equilibrado por un aumento igual de la presión de poros; sin embargo a medida que disminuye estas son las presiones efectivas las que van aumentando hasta equilibrar el incremento de presiones totales.

En el momento cuando la presión del agua vuelve a su valor final, el incremento de las presiones totales es igual al incremento de las presiones efectivas en la masa de suelo.

Cuando ocurre el fenómeno de consolidación nos interesa conocer la magnitud de los asentamientos y el tiempo en el cual se sucedan.

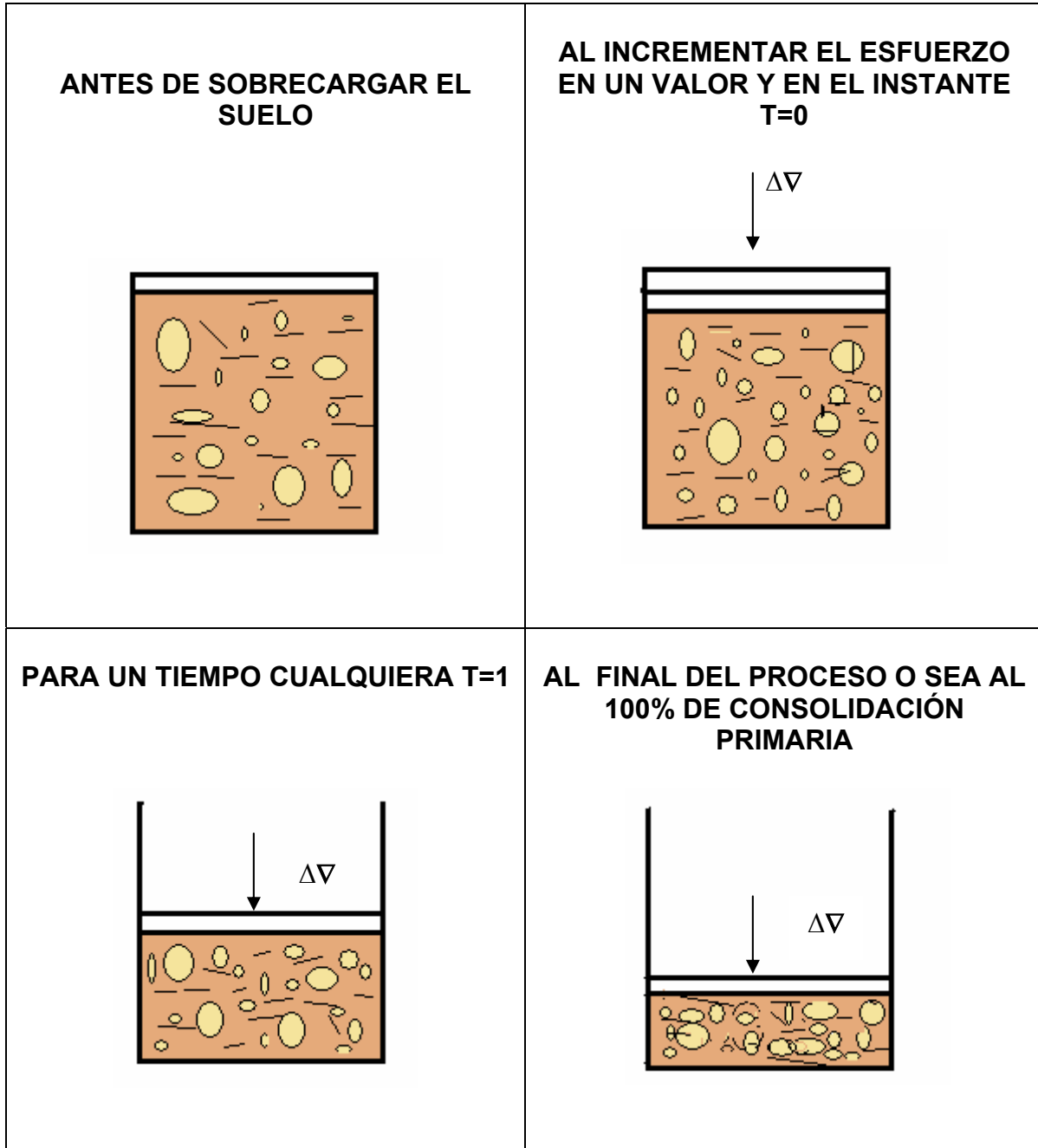
La velocidad con que se efectúa este fenómeno depende de la facilidad con que pueda escapar el agua de los poros, en otras palabras depende de su permeabilidad (K).

En los suelos de baja permeabilidad como las arcillas, la disminución de volumen es significativo en algunos casos y es un proceso lento en el cual tiene mucha importancia la variable tiempo.

---

<sup>5</sup> JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo II

Figura 22. Proceso de Consolidación de Suelos



Fuente: Propia

## 4.9 MUROS DE PIEDRA

Podemos clasificar los muros en piedra según la forma en que la piedra se encuentra labrada.

Si tenemos mampostería de primera, en la cual se ajustan perfectamente las piedras una con otra, y en la que se han labrado sus caras, con objeto de lograr el que sienten a hueso todas ellas.

Para un muro de este tipo, no sea necesario usar mortero, debido a que las piedras por si solas tienen un amarre suficiente; de todas formas se acostumbra usar alguna mezcla para facilitar su trabajo. Dentro de este tipo se encuentran todos los muros hechos a base de sillares, denominación que se da a las piedras cuando sus lados no son menores de 40 cm., siendo en muchos casos las piedras labradas por todos sus lados.

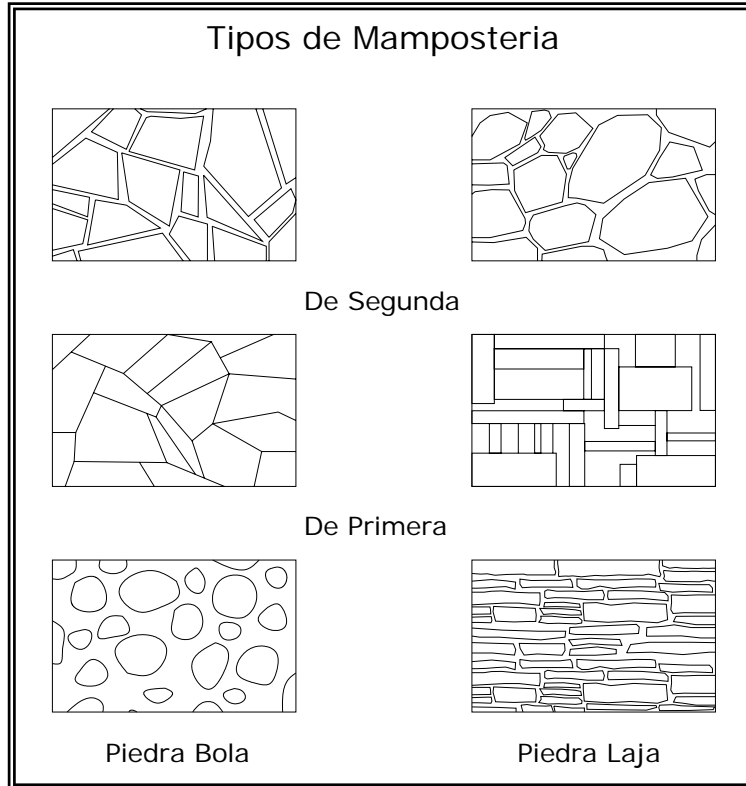
Cuando se construye un muro de piedra labrada, es conveniente no nunca usar piedra porosa o blanda en su parte inferior, sino que deben emplearse rodapiés de piedra dura, tales como recinto, chiluca dura o cualquier otra que reúna estas condiciones, para proteger posteriormente los sillares de piedra labrada.

La mampostería de segunda, es aquella en la que únicamente se trabaja una de las caras de la piedra, la exterior, y que los huecos comprendidos entre ellos son llenados con mortero. Esta es la más usual, ya que su costo no es tan alto como el de la mampostería de primera, y su acabado, si no es perfecto con respecto a su labrado, si presenta en cambio buenas cualidades de trabajo y transmisión de presiones, esta mampostera es la que encontramos en la Iglesia del Municipio de Pinchote Santander.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Mecánica de Suelos. Pag 180 – 199

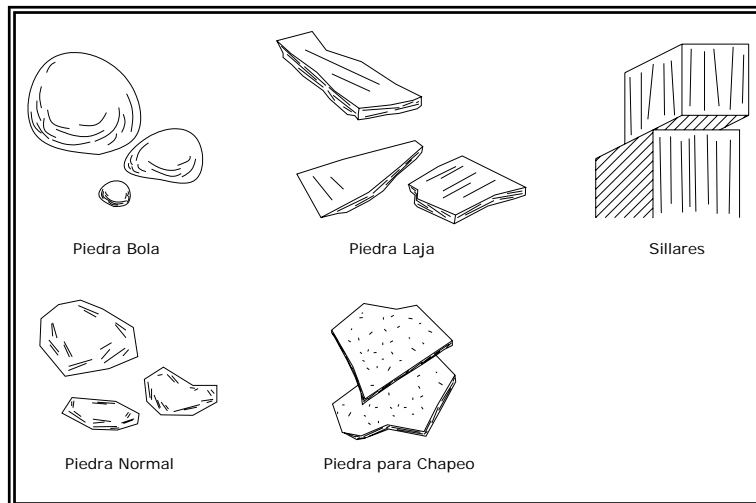
<sup>7</sup> PEDRO ABREU, ARQ. Arquitectura en Piedra. Folleto Congreso Nacional de Arquitectura. Universidad de los Andes 1998



Fuente: Sociedad Colombiana de Arquitectos

**Figura 23. Tipos de Mamposteria.**

**PIEDRAS USUALES DE CONSTRUCCIÓN**



Fuente: Sociedad Colombiana de Arquitectos

**Figura 24. Piedras Usuales de Construcción. MUROS EN TAPIA PISADA**

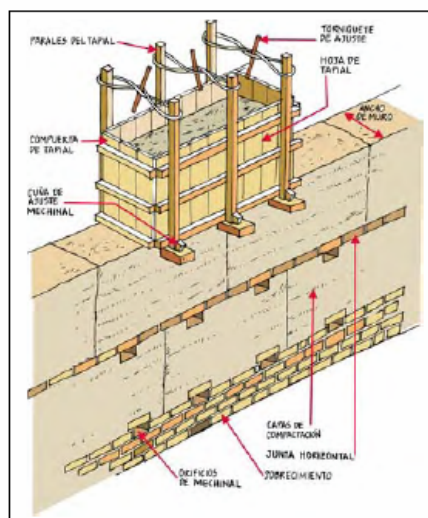


Esta técnica se basa en compactar tierra y otros elementos como arena, cal, algo de agua para la compactación; esto se hace en capas de 0.10 mt. La compactación se hace con una herramienta elaborada en obra denominada pisón. Es un objeto de madera parecido a un remo aunque la forma y el peso varían de una región a otra. La compactación se hace dentro de una formaleta que se llama tapial y esta consta de dos tableros de madera de 2.0 mt de largo por 1.0 mt de alto llamados hojas de tapial y dos compuertas que dan el ancho del muro. Las dimensiones de las hojas de tapial no son estándar. Varían de una región a otra al igual que el pisón.

Las hojas de tapial descansan sobre tres elementos horizontales transversales llamados mechinales. Los mechinales tienen en sus extremos unas cajas donde se instalan los parales que son elementos verticales que ajustan las hojas del tapial para que no se abran con el continuo impacto del pisón.

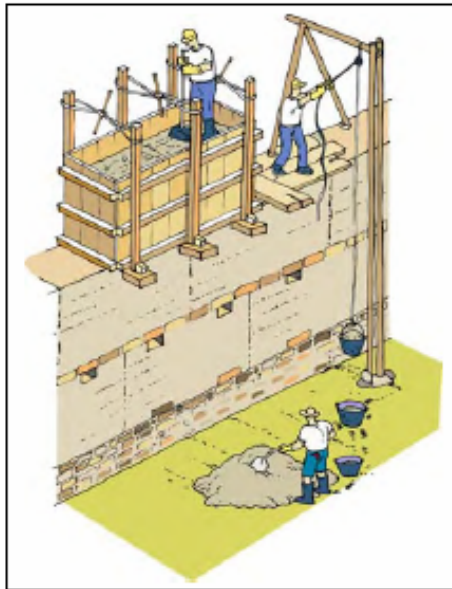
La parte superior de los parales se ajustan con un amarre de fique. Una vez se termina de pisar la sección, se desmonta el tapial y se desplaza horizontalmente para pisar una nueva sección. Al terminar esto se verán ciertos huecos que son característicos de este método constructivo.

Para el trabajo de esto se necesita el trabajo de 4 personas: el pisón y contra pisón (para la compactación), el zurroneo (transporta la tierra), quien prepara la tierra.



Fuente: Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada.

**Figura 25. Método Constructivo Tapia Pisada.**



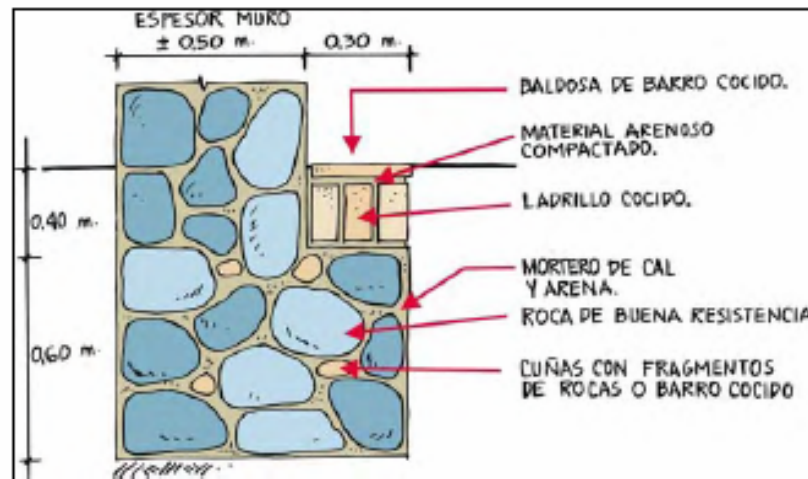
Fuente: Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada.

**Figura 26. Método Constructivo Tapia Pisada.**

#### **4.9.1 LA CIMENTACIÓN**

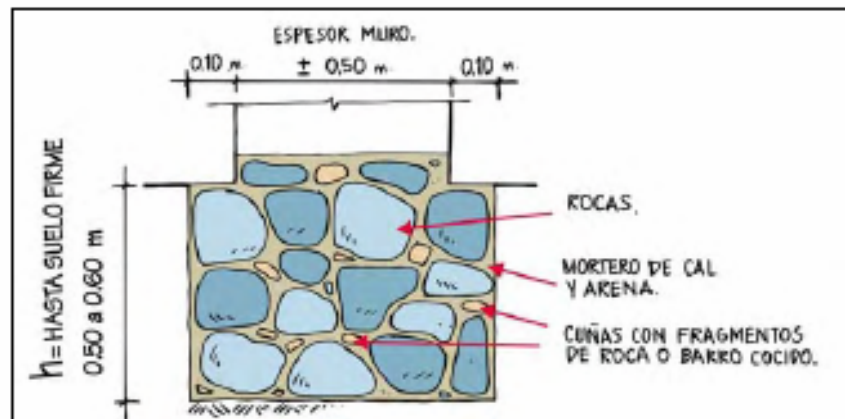
La cimentación se construye con base en vigas corridas en roca junto con material de relleno que forman un entramado de vigas bajo los muros principales de la construcción. Y al igual que las edificaciones actuales la profundidad de la cimentación va hasta suelo firme; su forma varía dependiendo del tipo de construcción, generalmente en L o T, simplemente del mismo ancho del muro.

Las rocas para la cimentación son angulares o redondeadas o de las dos; ya que por su forma encajan y se agarran entre ellas mucho mejor; aunque en ocasiones se acuan con piedras más pequeñas para un mejor agarre y una nivelación o se utilizan una mezcla de poco cemento con arena para una mejor colocación de las piedras; se utilizan estos materiales también por su fácil consecución en ríos o quebradas y esto facilita el costo de estas construcciones.



Fuente: Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada

**Figura 27. Cimentación.**



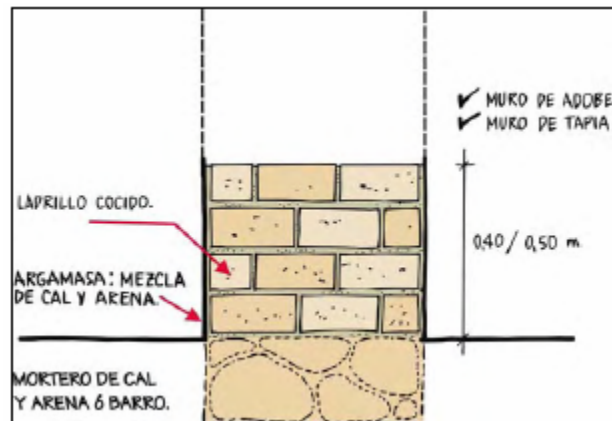
Fuente: Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada

**Figura 28. Cimentación.**

#### 4.9.2 LOS SOBRECIMIENTOS

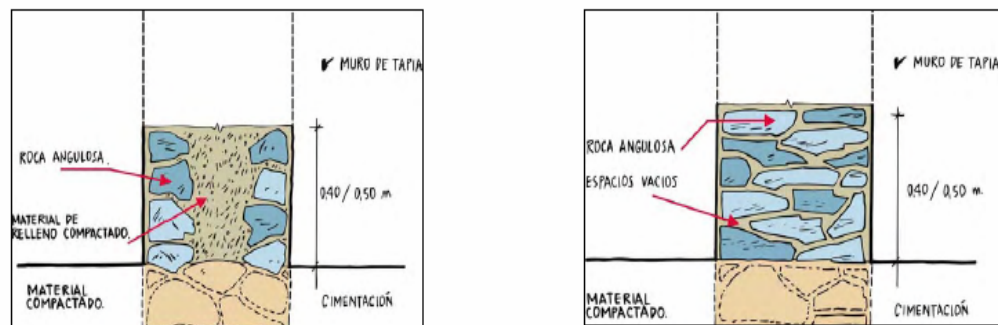
Generalmente se coloca un sobrecimiento en material rígido y resistente, ya protege el muro de tierra en tapia o adobe de la humedad, del agua superficial y de goteo del tejado y así se conforma la base definitiva; alcanzan hasta 0.50 mt dependiendo de las necesidades del constructor; se cubre con pañete más grueso que el resto del muro y se pintan al gusto del consumidor.

Estos se construyen con ladrillo cocido sentado con cal y barro con fragmentos de roca equivalentes a los de la cimentación, y se nivela con pañete.



Fuente: Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada

**Figura 29. Sobrecimentación.**



Fuente: Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada

**Figura 30. Sobrecimentación.**

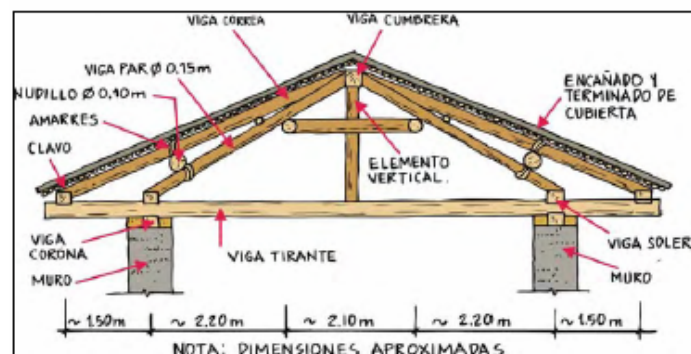
### 4.9.3 CUBIERTA

Las viviendas en tapia pisada presentan gran variedad de tipos de estructura de cubierta. Generalmente se elaboran con madera rolliza, o aserrados; uno de los tipos más conocida como par y nudillo, que tiene como componentes:

- Viga Cumbreira: conforma la viga longitudinal principal y recibe las correas.
- Viga Correos: vigas principales que sostienen el encañado del techo.
- Pares: elementos diagonales.
- Tirantes: Vigas de madera que atraviesan el vano y reciben las vigas soleras.
- Soleras: Vigas instaladas en las cajas de los tirantes. Reciben las correas y las vigas pares.
- Nudillos: elementos longitudinales de amarre entre vigas correas y vigas pares.

Fuente: Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada

Fuente: Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada

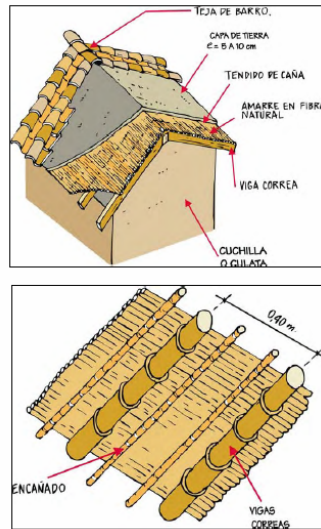


Fuente: Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada

**Figura 31. Cubierta.**<sup>8</sup>

Para el apoyo de la cubierta los muros no cargueros de fachada se prolongan para apoyar las cerchas, el entechado más común se realiza con caña amarrado con fibra (cáñamo), apoyado sobre las vigas correas y finalmente se coloca una tapa de tierra sobre la cual se apoyaba directamente la teja de barro cocido.

<sup>8</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. - AIS. Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Tapia Pisada.



Fuente: Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada  
**Figura 32 Entechado.**

---

<sup>8</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. - AIS. Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Tapia Pisada.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

### 5.1 CORTE DIRECTO

Al realizar el ensayo de corte directo basados en la norma INVIAS E-154 (Ver Anexo N), se presentan factores como C (cohesión),  $\phi$  (Angulo de fricción),  $\gamma$  (humedad) y una vez realizados 32 cortes 4 en cada apique y sobre los apiques 5 y 6 dos se obtuvieron como resultados el cálculo de estos parámetros por cada corte directo; de todos estos datos se trabajo con los valores más pequeños de  $\phi$ , c,  $\gamma$ ; y se procedió al cálculo de la capacidad portante utilizando las formulas ya mencionadas.(Ver Anexo I).

Los resultados obtenidos fueron:

**Tabla 4. Ensayos Corte Directo**

<b>Ensayo</b>	<b>Corte Directo</b>			
<b>Apique</b>	$\phi$	<b>C</b>	$\gamma$	<b>Profundidad</b>
1	18,87	0,574	2,01	2m
2	29,05	0,439	2,08	2m
3	41,9	0,131	2,03	2m
4	42,52	0,2352	1,96	1,5m
5	38,37	0,295	1,96	2m
6	38,67	0,3897	2,08	2m
5 <sup>a</sup>	31,84	0,7933	2,09	4m
6 <sup>a</sup>	43,99	0,0508	1,79	4m

Fuente: Propia

## 5.2 LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de de límite líquido y plástico basados en las normas INVIAS E-125 (Ver Anexo L) y E-126 (Ver Anexo M) fueron (Ver Anexo H):

**Donde:**

**LI:** Límite Líquido

**Lp:** Límite Plástico

**Tabla 5. Ensayos Límite Líquido y Límite Plástico.**

<b>Ensayo</b>	<b>Limites y Clasificación</b>				
<b>Apique</b>	<b>Humedad</b>	<b>LI</b>	<b>Lp</b>	<b>In de plast</b>	<b>Clasificación</b>
1	30,70	59,41	30,11	29,30	Arcilla de alta compresibilidad color marrón
2	24,98	46,79	24,40	22,39	Arcilla de baja compresibilidad color marrón
3	21,04	40,69	18,93	21,75	Arcilla de baja compresibilidad color marrón
4	24,20	44,42	23,54	20,87	Arcilla orgánica de baja compresibilidad color marrón
5	22,11	45,2	20,56	24,64	Arcilla orgánica de baja compresibilidad color negro
6	22,65	44,5	4,18	40,31	Arcilla de baja compresibilidad color marrón
4 <sup>a</sup>	23,45	44,5	19,15	25,35	Arcilla de baja compresibilidad color marrón
5 <sup>a</sup>	22,11	53,53	22,32	31,21	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
6 <sup>a</sup>	35,99	53,09	6,84	46,25	Arcilla inorgánica de alta plasticidad

Fuente: Propia



### 5.3 CONSOLIDACIÓN

Del ensayo de consolidación se realizaron 3 ensayos de los cuales se descarto uno por datos erróneos y se calculo a partir de los dos restantes. Los ensayos se realizaron según los requerimientos de la norma INVIAS E-154 (Ver Anexo O).

Después de realizados los ensayos de consolidación los resultados obtenidos fueron (Ver Anexo J):

**Tabla 6. Ensayos de Consolidación**

Ensayo	Consolidación		
	1	2	3
Apique			
Diámetro de la muestra, $d$ :	63,8 mm	63,5 mm	63,5 mm
Área de la Muestra, $A$ :	31,97 cm <sup>2</sup>	31,67 cm <sup>2</sup>	31,67 cm <sup>2</sup>
Altura de la muestra, $h_m$ :	2,56 cm	2,3 cm	2,3 cm
densidad, $r$ (inicial):	1,77 gr/cm <sup>3</sup>	2,23 gr / cm <sup>3</sup>	2,14 gr / cm <sup>3</sup>
Altura de Sólidos,	1,37 cm	1,31 cm	1,08 cm
Gravedad Específica, $G_s$ :	2,67	3,16	3,6
Masa Seca, $W_s$ :	117,3 gr	131,6 gr	123,4 gr
Última Medición, $M_e$ :	0,0871 cm	0,0838 cm	0,2324 cm
densidad, $r$ (final):	1,93 gr / cm <sup>3</sup>	2,28 gr/cm <sup>3</sup>	2,36 gr / cm <sup>3</sup>

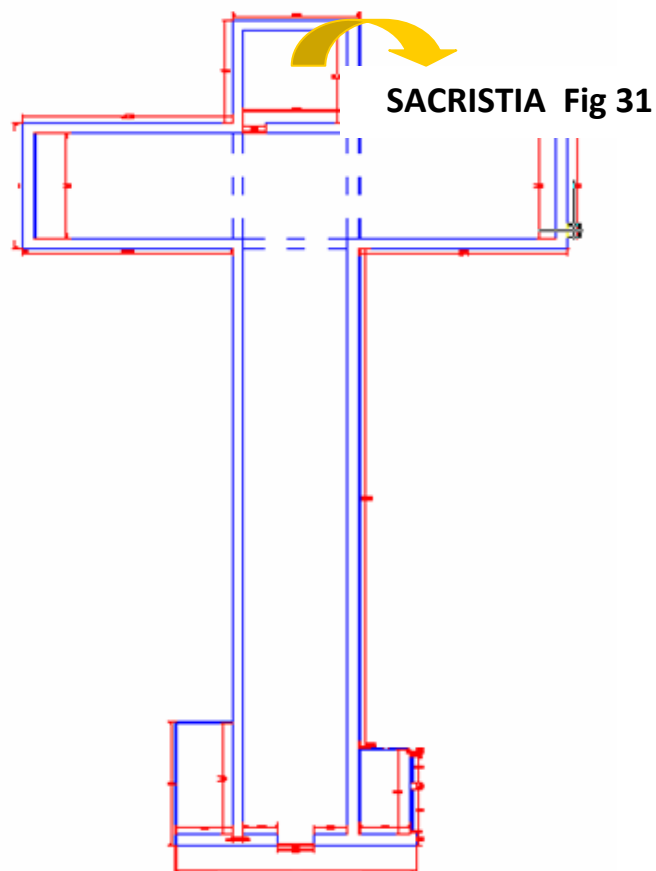
Fuente: Propia

## 5.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

En el levantamiento topográfico se obtuvieron los siguientes datos (Ver Anexo E):

### 5.4.1 MUROS

#### 5.4.1.1 MUROS SACRISTIA



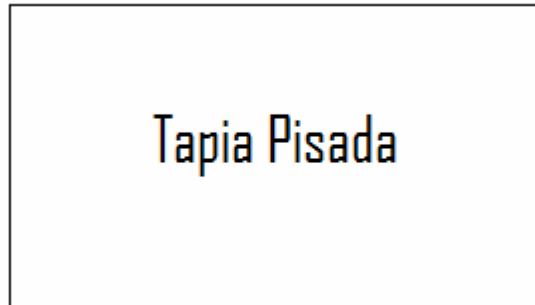
Fuente: Levantamiento topográfico

### Figura 33. Localización Sacristía

Cuatro (4) muros con las siguientes características:

ALTURA: 7,6 m

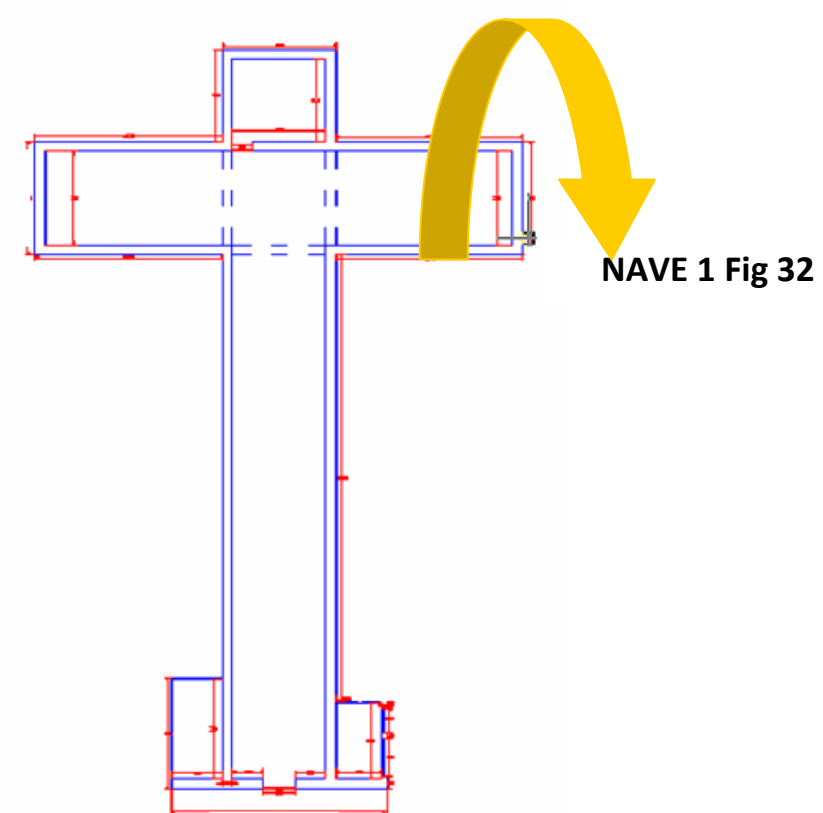
MATERIAL: En su Totalidad en Tapia Pisada



Fuente: Propia

**FIGURA 34. MUROS SACRISTIA**

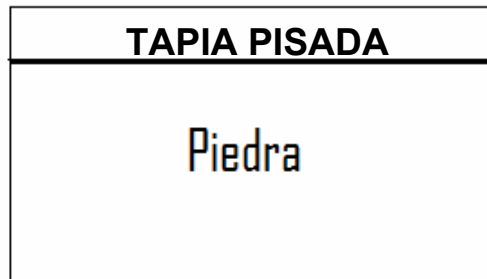
#### 5.4.1.2 NAVE 1 (DIVINO NIÑO)



Fuente: Levantamiento topográfico

**Figura 35. Localización nave 1**

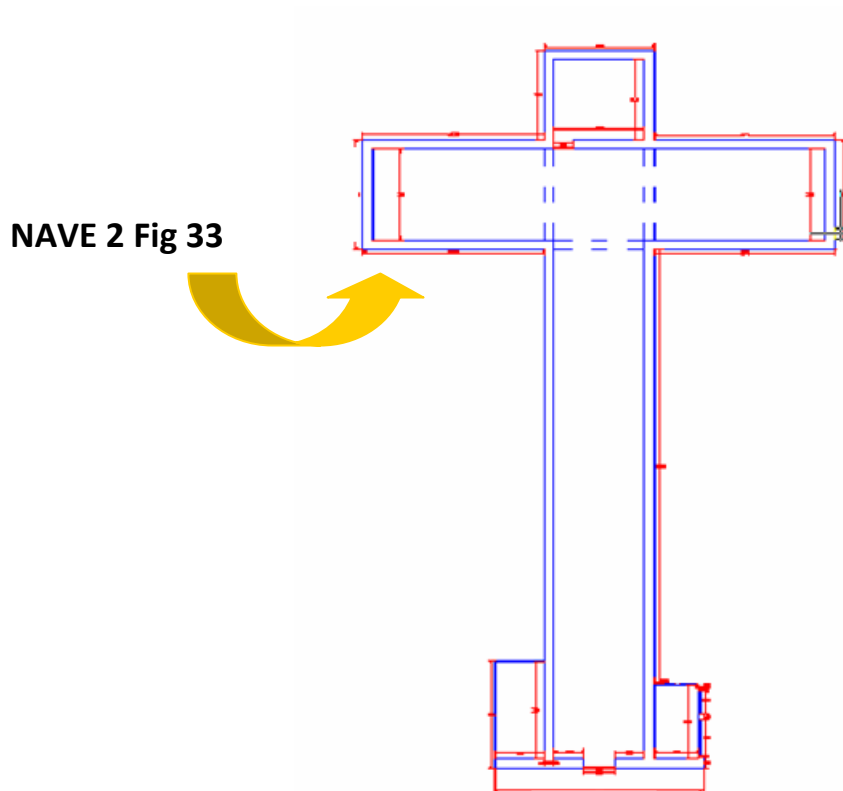
Tres (3) muros con las siguientes características:  
ALTURA: 7,6 m  
MATERIAL: Piedra = 6,5 m  
Tapia Pisada= 1,1 m



Fuente: Propia

**FIGURA 36. MUROS NAVE 1 (DIVINO NIÑO)**

#### 5.4.1.3 NAVE 2 (SAGRADO CORAZÓN)



NAVE 2 Fig 33

Fuente: Propia

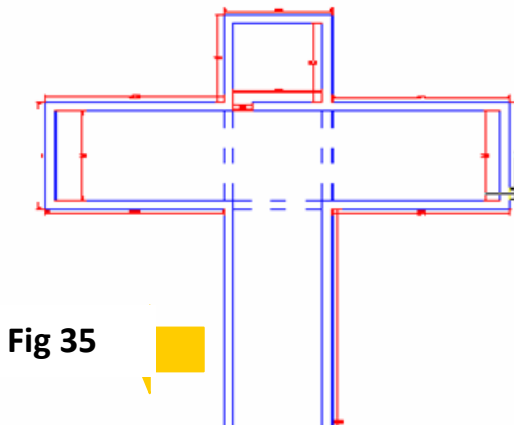
**Figura 37. Localización nave 2**

Tres (3) muros con las siguientes características:  
 Altura: 7.6 m  
 Material: Piedra = 2,3 m  
 Tapia Pisada = 5,3 Mt



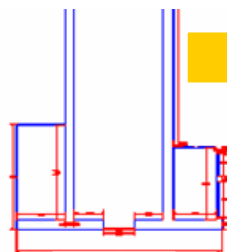
**FIGURA 38. MUROS NAVE 2 (SAGRADO CORAZÓN)**

**5.4.1.4 NAVE CENTRAL**



**Fig 35**

**NAVE CENTRAL**



**Fig 34**

**Fig 36**

**Figura 39. Localización nave central**

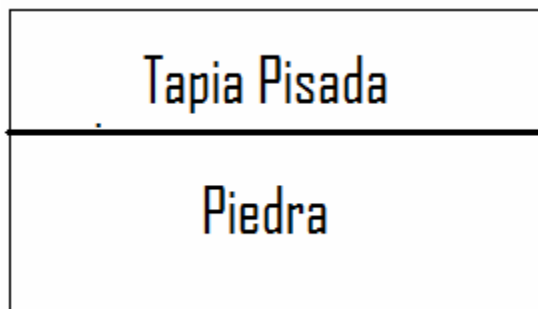
**Fig 36**

Un (1) muro con las siguientes características:

Altura: 7,6 m

Material: Piedra = 4,35 m

Tapia Pisada = 3,25 m



Fuente: Propia

**FIGURA 40. MURO A. NAVE CENTRAL**

Un (1) muro con las siguientes características:

Altura: 7,6 m

Material: Piedra = 2,3 m

Tapia Pisada = 5,3 m



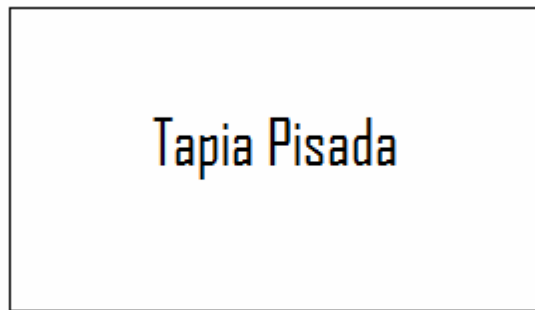
Fuente: Propia

**FIGURA 41. MURO B. NAVE CENTRAL**

Ocho (8) muros con las siguientes características:

Altura: 7,6 m

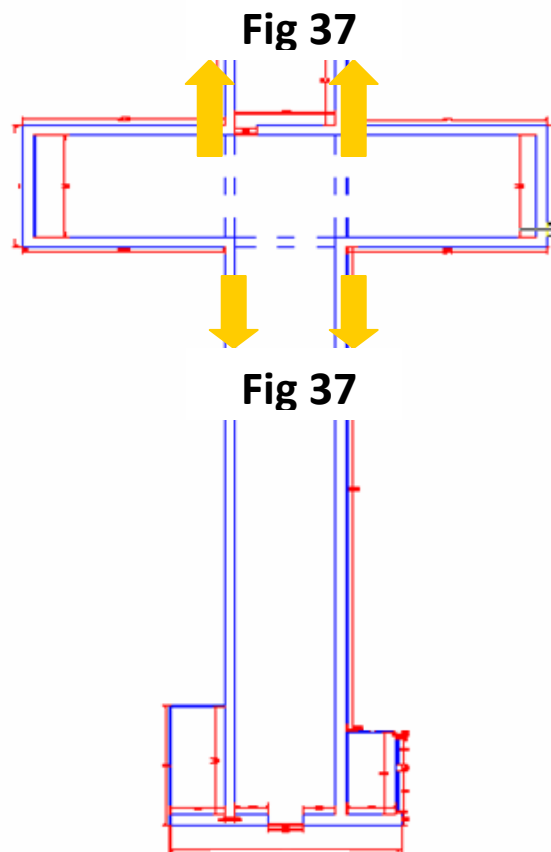
Material: En su totalidad en Tapia Pisada



Fuente: Propia

**FIGURA 42. MUROS C, D, E, F, G Y H. NAVE CENTRAL**

#### 5.4.2 COLUMNAS

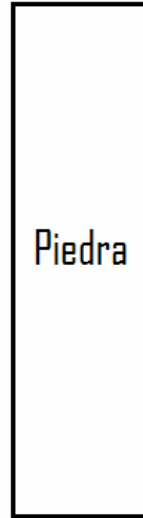


Fuente: Propia

**FIGURA 43. Localización imágenes nave central**

Cuatro (4) columnas con las siguientes características:  
Radio: 0,57 m

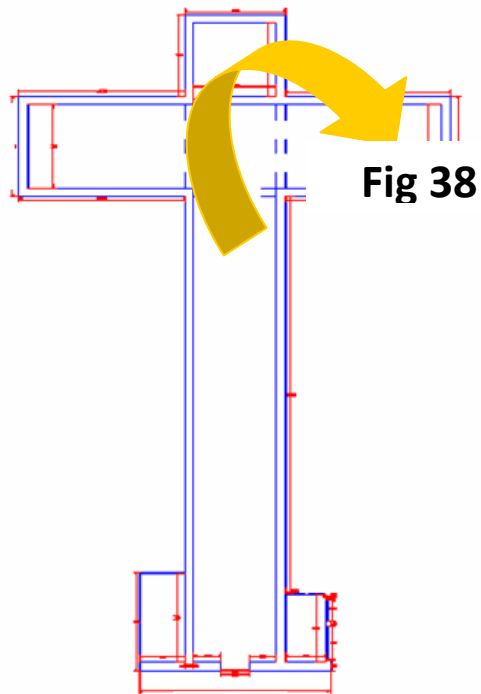
Material: En su totalidad en Piedra.



Fuente: Propia

**FIGURA 44. COLUMNAS**

### 5.4.3 CÚPULA



Fuente: Propia

**FIGURA 45. Localización de imagen nave 1**



Una cúpula con las siguientes características:

Radio Exterior: 6,35 m

Radio Interior: 5,2 m

Altura: 5,21 m

Materia: Mampostería



Fuente: Propia

**FIGURA 46. CÚPULA**

Cuatro (4) muros exteriores con las siguientes características:

Altura: 4 m

Material: Mampostería



Fuente: Propia

**FIGURA 47. MUROS EXTERNOS CÚPULA**

#### **5.4.4 TECHO**

Presenta las siguientes características:

Esta construido en teja de barro, adobe y madera.



Fuente: Propia

**FIGURA 40. TECHO IGLESIA**

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Con los resultados obtenidos en el levantamiento topográfico se realizó el análisis de cargas de la estructura con el cual se encontró que el muro más pesado de la misma, es el muro frontal que presenta un peso de 18,392 T/m.

El análisis de cargas se realizó de la siguiente forma (Ver Anexo E):

**Donde:**

**H<sub>tap</sub>**: es la altura de la Tapia Pisada

**Esp**: es el espesor del muro

**γ Tapia**: densidad de la Tapia Pisada

**WA**: total carga muro por m.

### SACRISTÍA

#### MURO A

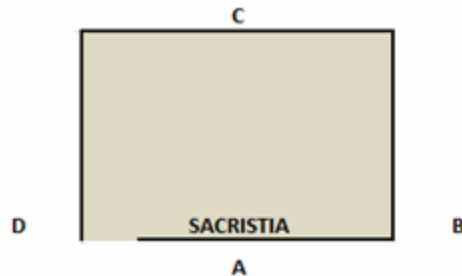
$$\mathbf{H_{tap} = 7,6 \text{ m}}$$

$$\mathbf{Esp = 0,95 \text{ m}}$$

$$\mathbf{\gamma_{tapia} = 1,6 \text{ T/m}^3}$$

$$\mathbf{WA = [(1,6 \text{ T/m}^3) * (7,6 \text{ m} * 0,95 \text{ m})]}$$

$$\mathbf{WA = 11.552 \text{ T/m}}$$



## 6.2 EXPLORACIÓN Y MUESTREO

Después de haber realizado los diferentes ensayos de granulometría y analizando los apiques se obtuvieron los perfiles estratigráficos. (Ver Anexo B).

## 6.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO

### 6.3.1 CORTE DIRECTO

#### 6.3.1.1 CAPACIDAD PORTANTE

Teniendo en cuenta los resultados de los laboratorios realizados a las muestras se encontró que en el cálculo de la capacidad portante por los métodos de Therzagui y Meyerhof Arrojaron los siguientes valores; de esta forma se utilizó el más crítico para la comparación con los esfuerzos actuantes por parte de la estructura y este corresponde a 16 T / m<sup>2</sup>, por el método de Therzagui.

##### 6.3.1.1.1 Método de Meyerhof

Para el cálculo de la capacidad portante por el método de Meyerhof se utilizaron las ecuaciones ya mencionadas anteriormente. Ec 6.7.8.9.10.11.12.13.14 Respectivamente.

$$Nq = e^{(\pi \cdot \tan \phi)} \cdot \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$Nq = 5,72$$

$$N_c = (Nq - 1) / (\tan \phi)$$

$$N_c = (5,72 - 1) / (\tan 18,89)$$

$$N_c = 13,81$$

$$N_\gamma = (Nq - 1) * \tan(1,4\phi)$$

$$N_\gamma = (5,72 - 1) * \tan(1,4 * 18,89)$$

$$N_\gamma = 2,18$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{18,87}{2}\right)$$

$$K_p = 1,95$$

$$S_c = 1 + 0,2 * (2,74) * \left(\frac{1}{1}\right)$$

$$S_c = 1,03$$

$$S_q = S_r = 1 + 0,1 * (2,74) * \left(\frac{1}{1}\right)$$

$$S_q = S_r = 1,016$$

$$d_c = 1 + 0,2 * \sqrt{(2,74 * \left(\frac{1}{1}\right))}$$

$$dq = dr = 1 + 0,1 * \sqrt{(2,74) * (1/1)}$$

$$dq = dr = 1,28$$

$$q\gamma * D = 19,6 * 1 = 19,6$$

$$qult = c * Nc * Sc * dc + q * Nq * Sq * dq + \gamma * B/2 * (Ny * Sr * dr)$$

$$qult = 43,22 T/m^2$$

$$qadm = 43,22/2$$

$$qadm = 17,29 T/m^2$$

Según los resultados obtenidos por el metodo de Meyerhof, se encontró una capacidad portante de 17.29ton/m<sup>2</sup>

### 6.3.1.1.2 Método de Terzaghi

Para el cálculo de la capacidad portante por este método se utilizaron las ecuaciones ya mencionadas Ec 1.2.3.4.5 y las tablas 2 y 3.

#### Datos de Ingreso

$$\phi = 18,87$$

$$c = 0,0508$$

$$\gamma = 1,96$$

$$\alpha = e^{\left(0,75 * \pi - \frac{\phi}{2}\right)} * \tan \phi$$

$$\alpha = e^{\left(0,75 * \pi - \frac{0,8298}{2}\right)} * \tan 0,3293$$

$$\alpha = 2,11$$

$$N_q = \frac{\alpha^2}{\left(2 * \cos^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)\right)}$$

$$N_q = \frac{2,11^2}{\left(2 * \cos^2 \left(45 + \frac{18,87}{2}\right)\right)}$$

$$N_q = 2,11$$

$$N_c = (N_q - 1) * \cot \phi$$

$$N_c = (7,42 - 1) * \cot 18,87$$

$$N_c = 8,39$$

$$N_\gamma = \left(\tan \frac{\phi}{2}\right) * \left[\left(\frac{K * P * \gamma}{\cos^2 \phi}\right) - 1\right]$$

$$N_\gamma = \left(\tan \frac{\phi}{2}\right) * \left[\left(\frac{21,62}{\cos^2(18,87)}\right) - 1\right]$$

$$N_\gamma = 0,23$$

$$q_{\acute{u}lt} = 0,0508 * 313,99 * 1,3 + 19,6 * 7,42 + 19,6 * \frac{1}{2} * (0,21 * 0,8)$$

$$q_{\acute{u}lt} = 39,89 T/m^2$$

$$q_{adm} = 15,99 T/m^2$$

Según los resultados obtenidos por el método de Terzaghy, se encontró una capacidad portante de 15.99 ton/m<sup>2</sup>

En comparación con las fuerzas actuantes de la estructura las cuales corresponden a 18.39 ton/m se consideró el muro A y frontal (Ver Anexo E) teniendo en cuenta que el muro A presenta el problema de asentamiento, desplome y fisuras y del muro Frontal se encuentra desplomado hacia el atrio.

### 6.3.2 CONSOLIDACIÓN

#### 6.3.2.1 ASENTAMIENTOS

Para el cálculo de los asentamientos se tuvieron en cuenta las ecuaciones ya mencionadas anteriormente Ec.15

##### Apique 6

$$e_0 = 1,6$$

$$e_f = 1,45$$

$$\Delta e = e_0 - e_f$$

$$\Delta e = 1,8 - 0,83$$

$$\Delta e = 0,15$$

$$\Delta Ht = \left( \frac{\Delta e}{1 + e_0} \right) * profundidad$$

$$\Delta Ht = \left( \frac{0,97}{1 + 1,8} \right) * 2$$

$$\Delta Ht = 0,23 m$$

##### Apique 5



$$e_0 = 1,1$$

$$e_f = 0,99$$

$$\Delta e = e_0 - e_f$$

$$\Delta e = 1,8 - 0,83$$

$$\Delta e = 0,11$$

$$\Delta Ht = \left( \frac{\Delta e}{1 + e_0} \right) * profundidad$$

$$\Delta Ht = \left( \frac{0,97}{1 + 1,8} \right) * 2$$

$$\Delta Ht = 0,10 m$$

De acuerdo al asentamiento que presenta el muro lateral derecho (Ver Anexo E) y según los cálculos a partir del ensayo de consolidación a los apiques 5 y 6 a diferentes profundidades (2 y 4 m), corresponden a los vistos en campo ya que el principal asentamiento se localiza en la zona del apique 6 (23 cm), y el secundario en la zona del apique 5 (10 cm) (Ver Anexo E).

## 7. CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados a las muestras de los suelos tomadas en la iglesia del municipio de Pinchote y de los cálculos realizados se concluye que la capacidad portante del terreno es baja además de presentarse asentamientos diferenciales altos.
- Las fallas se concentran básicamente sobre los muros lateral derecho y frontal debido a las pésimas condiciones del suelo sobre el que están cimentados y a su alto contenido de humedad. (Ver anexo G, H, I, J)
- El asentamiento por consolidación calculado sobre el costado derecho de la estructura es aproximadamente de 23 cm lo que indica que no cumple con la Norma Sismo resistente (NSR 98) por ser mayor a una pulgada (2,54 cm).
- El suelo se encuentra normalmente consolidado lo que indica que hasta el momento del muestreo estaba en este proceso esto explica los asentamientos que hasta el momento se han presentado y que posiblemente se van a seguir presentando.
- Se calculó la capacidad portante por los métodos de Therzagui y Meyerhof, obteniéndose como resultado un valor aproximado de 16 T/m<sup>2</sup>. Así mismo se estimó la presión aproximada transmitida por el muro el cual fue de 17 T/m<sup>2</sup>, es decir se excede la capacidad de soporte admisible.
- De los diferentes sondeos realizados se obtuvo que la estructura se encuentra soportada sobre dos tipos de suelo diferentes: Al lado izquierdo (Sin asentamiento), una Arcilla de baja Compresibilidad color rojizo con vetas blancas de mejores propiedades mecánicas y menor contenido de humedad que el suelo encontrado en la parte derecha. Al lado Derecho (Con asentamientos diferenciales altos), una Arcilla orgánica de baja compresibilidad color negro a cuatro (4) metros de profundidad, de baja capacidad portante, alto contenido de humedad. (Ver anexo G)
- A través de los años el suelo había presentado asentamientos diferenciales leves debido a su proceso de consolidación, a raíz de esto se fisuraron algunos muros. Como solución a este problema la comunidad optó por cambiar el manejo de aguas lluvias dirigiéndolas hacia el lote de la parte derecha de la estructura, alterando la humedad natural de este y su a vez disminuyendo la capacidad portante, teniendo como consecuencia el aceleramiento del proceso con asentamientos diferenciales severos en poco tiempo.

- El análisis de cargas de las diferentes partes de la estructura como lo son la nave principal, cúpula, nave 1 (Divido Niño), nave 2 (Sagrado Corazón), Sacristía, columnas principales y techo; para la comparación entre la capacidad portante del terreno y los esfuerzos ejercidos por la estructura se tuvo en cuenta el muro más pesado (frontal) por ser en su totalidad en piedra tallada, junto con el muro lateral (derecho) por presentar el mayor asentamiento, desplome y fisuras. (Ver anexo E)
- Teniendo en cuenta que los muros y en general la estructura no presentan unos parámetros de diseño por su antigüedad, las fisuras presentes en estos no se deben a la falla de los muros como tal sino al asentamiento presente en el suelo de fundación.
- Debido al cambio de humedad en el suelo y a su baja capacidad portante, se presentaron asentamientos diferenciales que posiblemente son la causa del desplazamientos de los muros lateral derecho y frontal, al suceder esto se dio una diferencia en las cotas de soporte de la cubierta, lo que provocó una carga horizontal sobre el muro lateral derecho en la parte superior el cual está construido en tapia, material que solo resiste fuerzas a compresión.
- Al analizar el sentido de las grietas y del desplazamiento del muro lateral derecho se ratifica el asentamiento localizado puntualmente donde se descargan las aguas de la canaleta existente por el costado derecho, lado que al asentarse los muros se fracturaron de tal forma que la estructura se rompió.
- Los esfuerzos actuantes por parte de la estructura sobre el muro frontal son mayores a la capacidad portante del terreno debido a su material y a las condiciones del suelo.

## 8. RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta el alcance del presente proyecto, se plantea una segunda fase que permita un análisis más profundo sobre las soluciones a esta problemática debido a que el presente se considera un estudio preliminar que identifique las posibles causas y soluciones del deterioro de la iglesia, más no un resultado final.
- Se recomienda tener un plan de contingencia mientras se realizan los estudios más profundos y se dan soluciones definitivas.

Las siguientes son recomendaciones que deberán ser objeto de estudio para la segunda fase de la investigación y así se podrá determinar si son o no opciones viables.

- Se recomienda utilizar técnicas que permitan mejorar la resistencia del suelo, por ejemplo estabilizaciones con cal; teniendo en cuenta que esto mejora la capacidad portante del suelo y mantiene constante la humedad.
- Es de suma importancia incorporar filtros al suelo del costado derecho para abatir las posibles filtraciones que se tengan.
- Como una solución para mitigar de algún modo el cambio de humedad en el suelo se recomienda demoler la canaleta existente por el costado derecho de la iglesia ya que descarga sus aguas justo donde se presenta el mayor asentamiento; teniendo en cuenta que es una medida rápida y de bajo costo, que no va a solucionar el problema pero lo va a mitigar.
- Se plantean como posibles soluciones al desplome del muro lateral derecho sobre la parte de tapia, apuntalar la cubierta de modo que las fuerzas horizontales generadas por el asentamiento se disipen sobre los apuntalamientos y no sobre el muro de tapia; estas podrían ser interiores en madera trabajada para no dañar la estética de la iglesia.
- Reemplazar el muro de tapia pisada por un muro que soporte fuerzas laterales y apuntalar la cubierta mientras este se construye.
- Mejorar la forma de transmisión de presiones al suelo debido a que no hay cimentación como tal.
- Reemplazar los suelos no competentes por suelos de mejores características

- Se contempla la posibilidad de demoler la iglesia y construirla en otro sitio o en el mismo sitio mejorando la calidad de los suelos de fundación y su cimentación.

## BIBLIOGRAFÍA

- JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos TOMO I. Tercera edición. México D.F. Limusa Noriega Editores, 2000. 149 pág. ISBN: 968 – 18 – 0069 – 9.
- BRAJA M. DAS. Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Quinta Edición. Editorial Thomson, 2006. 206 pág.
- ANTONIO MAS – GUINDAL. Criterios de Intervención y recomendaciones de diseño a sismo en las estructuras de patrimonio histórico. 1989.
- ANTONIO MAS – GUINDAL. Viviendas en Tierra. 1995.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002. AIS 2004.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Manual para la Rehabilitación de viviendas construidas en tapia pisada.
- ALVARO SARMIENTO SANTANDER. Archivo Nacional. Departamento de Santander – Pinchote. 20 de mayo de 2008.
- PEDRO ABREU, ARQ. Arquitectura en Piedra. Folleto Congreso Nacional de Arquitectura. Universidad de los Andes 1998.
- NORMA COLOMBIANA INVIAS. 2007
- UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Mecánica de Suelos. 180 pág.
- JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos TOMO II. Tercera edición. México D.F. Limusa Noriega Editores, 2000. Cap. III, Cap. VII. ISBN: 968 – 18 – 0069 – 9.
- JOSEPH BOWLES Foundation analysis and desing 5ª edicion McGraw-Hill